

D

41452

MN 272


ENIO RESENDE DE SOUZA

**ALTERAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS NO DEFLÚVIO DE TRÊS SUB-BACIAS
HIDROGRÁFICAS DECORRENTES DA ATIVIDADE AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia
Florestal, área de concentração em Manejo Ambiental, para
obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. ARY TEIXEIRA DE OLIVEIRA FILHO

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

1996



**Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação da
Biblioteca Central da UFLA**

Souza, Enio Resende de

Alterações físico-químicas no deflúvio de três sub-bacias hidrográficas decorrentes da atividade agrícola / Enio Resende de Souza. -- Lavras: UFLA, 1996.

91p. : il.

Orientador: Ary Teixeira de Oliveira Filho.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Bacia hidrográfica. 2. Água - Qualidade. 3. Agricultura. 4. Agrotóxico. 5. Parâmetro físico-químico. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-551.48

ENIO RESENDE DE SOUZA

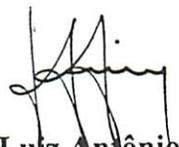
**ALTERAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS NO DEFLÚVIO DE TRÊS SUB-BACIAS
HIDROGRÁFICAS DECORRENTES DA ATIVIDADE AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia
Florestal, área de concentração em Manejo Ambiental, para
obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 10 de julho de 1996



Eng. Maurício Roberto Fernandes



Prof. Luiz Antônio Lima
(co-orientador)



Prof. ARY TEIXEIRA DE OLIVEIRA FILHO

(Orientador)



À minha esposa, Anita

À meus filhos, Lívia, Gabriel e Gustavo

Aos meus pais, Wilson (in memorian) e Helena

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), por intermédio do Departamento de Ciências Florestais (DCF), pela acolhida e pelo interesse demonstrados;

À Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER-MG), pela oportunidade de realizar o curso e pelo apoio logístico;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo concedida durante um ano de curso;

Ao Prof. Ary Teixeira de Oliveira Filho, pela amizade, dedicação e orientação recebidas durante o curso e na realização deste trabalho;

Ao Professor Dr. Luiz Antônio Lima, co-orientador deste trabalho, pela segura orientação e pela dedicada participação em todos os momentos da realização deste trabalho;

Ao Professor Dr. Renê Luís de Oliveira Rigitano, co-orientador deste trabalho, pela competente orientação, pelo fundamental apoio e sugestões e, também, pela realização das análises para determinação de resíduos de pesticidas nas amostras de água;

Aos professores Nelson Venturim e Sebastião da Silva Rosado, coordenadores do curso de pós-graduação em Engenharia Florestal, pelo apoio recebido;

Ao Eng. Agrônomo Ms. Maurício Roberto Fernandes, colega da EMATER-MG, que nunca faltou com sua imprescindível colaboração;

À Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais (COPASA), pelo apoio dado, especialmente na realização das análises de água;

À Universidade Federal de Minas Gerais, por intermédio do Departamento de Ciências Biológicas e dos professores Francisco A. R. Barbosa e José Rabelo Freitas, pela acolhida e oportunidade de receber valiosos ensinamentos;

Ao Departamento de Solos da UFLA, pela realização das análises das amostras de solo;

Aos técnicos em química, Elson e Lourival, funcionários da COPASA em Conselheiro Lafaiete, pela valiosa colaboração na coleta das amostras de água;

Ao técnico agrícola e colega da EMATER-MG, Rubens, lotado em Conselheiro Lafaiete, pela colaboração e auxílio prestados nos trabalhos de campo;

Ao colega de curso Santos D'Angelo, pelo auxílio e colaboração prestados nas viagens de campo e especialmente pela amizade;

Ao estudante do curso de mestrado em Engenharia Agrícola, Marcus Metri, pela valiosa ajuda nos trabalhos de campo realizados para determinação da lâmina d'água aplicada nas irrigações;

Aos colegas da Superintendência da EMATER-MG de Lavras, pela receptividade e apoio;

À minha esposa e aos meus filhos, pelo incentivo, carinho e paciência durante o curso;

Aos demais colegas e amigos do curso de mestrado, bem como aos demais professores, pela convivência, troca de experiências, e momentos compartilhados;

Enfim, a todos que direta ou indiretamente, colaboraram na concretização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS.....	xiii
RESUMO	xiv
SUMMARY	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 A água como um indicador da qualidade ambiental	3
2.2 Características da água	4
2.2.1 Principais parâmetros físico-químicos de qualidade de água relacionados com a atividade agrícola.....	4
2.3 Sub-bacias hidrográficas como unidades de estudo, pesquisa e planejamento	11
2.4 Função protetora da cobertura florestal nos ecossistemas.....	12
2.5 Interferências nos ecossistemas aquáticos causados pelas atividades agrícolas	13
2.5.1 Erosão do solo	13
2.5.2 Transporte de nutrientes.....	14
2.5.3 Transporte de pesticidas.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 Descrição geral da área de estudo	17
3.2 Procedimentos de campo e laboratório	19
3.2.1 Descrição das sub-bacias hidrográficas.....	19
3.2.2 Morfologia das sub-bacias hidrográficas	21

3.2.3	Determinação das precipitações pluviométricas	21
3.2.4	Quantificação da lâmina d'água aplicada nas irrigações e de seus efeitos sobre o solo	22
3.2.5	Caracterização da cobertura vegetal e uso da terra	23
3.2.6	Amostragem da água dos deflúvios	23
3.2.7	Análise das amostras de água.....	24
3.2.7.1	Determinação dos parâmetros físico-químicos	24
3.2.7.2	Determinação dos resíduos de pesticidas	25
3.2.8	Amostragem e análise dos solos	27
3.3	Análises estatísticas.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	Características das sub-bacias hidrográficas	30
4.1.1	Características morfológicas	30
4.2	Precipitações pluviométricas.....	34
4.3	Lâmina d'água aplicada nas irrigações e seus efeitos sobre o solo.....	35
4.4	Caracterização da paisagem	37
4.4.1	Cobertura florestal.....	37
4.4.2	Agropecuária	39
4.4.3	Sistemas de produção agrícola adotados.....	39
4.5	Caracterização dos solos	43
4.6	Caracterização dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água dos deflúvios.....	49
4.7	Resíduos de pesticidas.....	74
4.8	Análise dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água nos estratos florestal e agrícolas das sub-bacias hidrográficas.....	75
4.8.1	Análise de componentes principais.....	75
5	CONCLUSÕES	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
	APÊNDICES.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1	Localização geográfica das sub-bacias estudadas.----- 18
2	Mapa da Bacia hidrográfica dos Almeidas, onde se encontram as três sub-bacias hidrográficas estudadas, com suas localizações geográficas. ----- 20
3	Mapas planialtimétricos (escala 1:10.000) das sub-bacias A, B e C, com áreas totais e parciais (limitadas pelos divisores de água e pelo ponto de coleta d'água nas áreas agrícolas); curvas de nível (20 em 20 m); cursos d'água e pontos de coleta das amostras nos deflúvios (X, no estrato florestal e , no estrato agrícola). ----- 31
4	Perfil do relevo das sub-bacias A, B e C, a partir de corte transversal na seção média das mesmas. ----- 33
5	Distribuição da precipitação ocorrida nas sub-bacias A, B e C, durante o período de coleta, na estação chuvosa (verão). ----- 34
6	Distribuição das lâminas d'água aplicadas através de irrigação por aspersão nas áreas agrícolas das sub-bacias A e B, durante o período de coleta das amostras do deflúvio. --- 36
7	Mapas (escala 1:10.000) de distribuição da cobertura vegetal (matas nativas, culturas agrícolas e pastagens) nas sub-bacias A, B e C, nos períodos de chuva e de estiagem. Ms = mata secundária; Vs = vegetação secundária; Ih = invasoras herbáceas; A = arroz; B = batata; F = feijão; M = milho; P = pastagem; Pi = pastagem infestada com invasoras herbáceas; Pa = palhada e Sc = sem cultivo. ----- 38

- 8 Concentração de cálcio nos solos, nos pontos amostrados (topo da margem direita, vertente da margem direita, fundo do vale, vertente da margem esquerda e topo da margem esquerda) dos estratos florestal e agrícola, das sub-bacias A, B e C.----- 44
- 9 Concentração de magnésio nos solos, nos pontos amostrados (topo da margem direita, vertente da margem direita, fundo do vale, vertente da margem esquerda e topo da margem esquerda) dos estratos florestal e agrícola das A, B e C.----- 45
- 10 Concentração de fósforo nos solos, nos pontos amostrados (topo da margem direita, vertente da margem direita, fundo do vale, vertente da margem esquerda e topo da margem esquerda) dos estratos florestal e agrícola das sub-bacias A, B e C. ----- 46
- 11 Argila dispersa em água nos solos, nos pontos amostrados (topo da margem direita, vertente da margem direita, fundo do vale, vertente da margem esquerda e topo da margem esquerda) dos estratos florestal e agrícola das sub-bacias A, B e C. ----- 48
- 12 Concentração de cádmio nas amostras do deflúvio das sub-bacias A, B e C, coletadas nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).----- 51
- 13 Concentração de cálcio nas amostras do deflúvio das sub-bacias A, B e C, coletadas nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).----- 52
- 14 Valores médios da concentração de cálcio nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo A, no período de chuva; B, no período de estiagem; C, das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (média dos períodos); D, anual e E, geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola(*) e entre os períodos (+), usando o teste de Wilcoxon (Soma das ordens).----- 53
- 15 Concentração de magnésio nas amostras do deflúvio das sub-bacias A, B e C, coletadas nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).----- 56
- 16 Valores médios da concentração de magnésio nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo A, no período de chuva; B, no período de estiagem; C, das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (média

- dos períodos); D, anual e E, geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola(*) e entre os períodos (+), usando o teste de Wilcoxon (Soma das ordens).----- 57
- 17 Valores da condutividade elétrica nas amostras do deflúvio das sub-bacias A, B e C, coletadas nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).----- 58
- 18 Valores médios da condutividade elétrica nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo A, no período de chuva; B, no período de estiagem; C, das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (média dos períodos); D, anual e E, geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola(*) e entre os períodos (+), usando o teste de Wilcoxon (Soma das ordens).----- 59
- 19 Concentração de fósforo total nas amostras do deflúvio das sub-bacias A, B e C, coletadas nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).----- 60
- 20 Valores médios da concentração de fósforo nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo A, no período de chuva; B, no período de estiagem; C, das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (média dos períodos); D, anual e E, geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola(*) e entre os períodos (+), usando o teste de Wilcoxon (Soma das ordens).----- 61
- 21 Concentração de nitrito nas amostras do deflúvio das sub-bacias A, B e C, coletadas nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).----- 63
- 22 Valores médios da concentração de nitrito nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo A, no período de chuva; B, no período de estiagem; C, das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (média dos períodos); D, anual e E, geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola(*) e entre os períodos (+), usando o teste de Wilcoxon (Soma das ordens).----- 64

- 23 Concentração de nitrato nas amostras do deflúvio das sub-bacias A, B e C, coletadas nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).----- 65
- 24 Valores médios da concentração de nitrato nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo A, no período de chuva; B, no período de estiagem; C, das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (média dos períodos); D, anual e E, geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola(*) e entre os períodos (+), usando o teste de Wilcoxon (Soma das ordens).----- 66
- 25 Valores do pH nas amostras do deflúvio das sub-bacias A, B e C, coletadas nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.). ----- 67
- 26 Valores médios do pH nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo A, no período de chuva; B, no período de estiagem; C, das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (média dos períodos); D, anual e E, geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola(*) e entre os períodos (+), usando o teste de Wilcoxon (Soma das ordens).----- 68
- 27 Concentração dos Sólidos totais em suspensão nas amostras do deflúvio das sub-bacias A, B e C, coletadas nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.). ----- 70
- 28 Valores médios da concentração de sólidos totais em suspensão nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo A, no período de chuva; B, no período de estiagem; C, das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (média dos períodos); D, anual e E, geral e anual das três sub-bacias. Geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola(*) e entre os períodos (+), usando o teste de Wilcoxon (Soma das ordens).----- 71

- 29 Valores da turbidez nas amostras do deflúvio das sub-bacias A, B e C, coletadas nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.). ----- 72
- 30 Valores médios da turbidez nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo A, no período de chuva; B, no período de estiagem; C, das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (média dos períodos); D, anual e E, geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola(*) e entre os períodos (+), usando o teste de Wilcoxon (Soma das ordens). ----- 73
- 31 Diagramas de ordenação dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água (A) e das sub-bacias hidrográficas e seus respectivos estratos (B), produzidos por análise de correspondência canônica, através de dados obtidos das amostras do deflúvio dos estratos florestal (f) e agrícola (a) das três sub-bacias hidrográficas (A, B e C), no período chuvoso. ----- 76
- 32 Diagramas de ordenação dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água (A) e das sub-bacias hidrográficas e seus respectivos estratos (B), produzidos por análise de correspondência canônica, através de dados obtidos das amostras do deflúvio dos estratos florestal (f) e agrícola (a) das três sub-bacias hidrográficas (A, B e C), no período de estiagem (inverno). ----- 77
- 33 Diagramas de ordenação dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água (A) e das sub-bacias hidrográficas e seus respectivos estratos (B), produzidos por análise de correspondência canônica, através de dados obtidos das amostras do deflúvio dos estratos florestal (f) e agrícola (a) das três sub-bacias hidrográficas (A, B e C), no período anual. ----- 78

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Parâmetros morfológicos das sub-bacias hidrográficas.-----	32
2	Umidade gravimétrica (u) e volumétrica (θ) e densidade aparente (D_a) dos solos das área irrigadas das sub-bacias hidrográficas A e B -----	35
3	Umidade do solo, capacidade de armazenamento e lâminas d'água aplicadas nas irrigações realizadas nas sub-bacias A e B -----	36
4	Sistemas de produção agrícola adotados na sub-bacia A -----	40
5	Sistemas de produção agrícola adotados na sub-bacia B -----	41
6	Sistemas de produção agrícola adotados na sub-bacia C -----	42
7	Valores anuais máximos, mínimos, médios e desvio padrão (S) dos parâmetros físico-químicos determinados nas amostras do deflúvio das sub-bacias A, B e C, coletadas nos estratos florestal e agrícola, nos períodos de chuva e de estiagem. -----	49

RESUMO

SOUZA, Enio Resende de. **Alterações físico-químicas no deflúvio de três sub-bacias hidrográficas decorrentes da atividade agrícola**. Lavras: UFLA, 1996, 91p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal)*

Este estudo teve como objetivo principal investigar se as atividades agrícolas praticadas em três sub-bacias hidrográficas nos municípios de Conselheiro Lafaiete e Itaverava, Minas Gerais, têm provocado alterações em parâmetros físico-químicos de qualidade de água dos deflúvios. Foram realizadas duas campanhas de coletas de amostras de água drenada dos estratos agrícola (área cultivada) e florestal (a montante da área cultivada) das três sub-bacias, sendo a primeira campanha representativa do período chuvoso (13/01 a 3/02/1995) e a outra do período de estiagem (16/06 a 20/07/1995), cada uma delas com oito coletas realizadas a cada três dias. As amostras de água foram analisadas para onze parâmetros físico-químicos de qualidade: pH, condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão, turbidez e concentrações de Cd, Ca, Mg, P, NO_2^- , NO_3^- e resíduos de pesticidas. Além disso, também foram descritos os sistemas de produção agrícola adotados e as características morfológicas e de revestimento das sub-bacias, monitorada a precipitação pluviométrica, analisadas amostras de solo e determinada a lâmina d'água oriunda das irrigações realizadas no período de estiagem. Foi verificada uma marcante alteração na qualidade de água do estrato florestal para o agrícola em todas as sub-bacias, particularmente para sólidos totais em suspensão, turbidez, condutividade elétrica e fósforo total. Estes efeitos foram mais significativos nas sub-bacias A e C, nas quais há menor cobertura florestal e maior intensidade de uso do solo. Quanto aos pesticidas, verificaram-se resíduos do inseticida aldicarbe em três amostras de água da sub-bacia A, no período de estiagem.

* Orientador: Ary Teixeira de Oliveira Filho. Membros da Banca: Luiz Antônio Lima e Maurício Roberto Fernandes.

SUMMARY

CHANGES ON PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF STREAMING WATER CAUSED BY AGRICULTURAL PRACTICES IN THREE WATERSHEDS

The main purpose of the present study was to investigate if the agricultural practices adopted in three watersheds located on the municipalities of Conselheiro Lafaiete and Itaverava, Minas Gerais state, Brazil, were altering the physical and chemical properties of streaming water. Samples of streaming water were collected from both the agricultural (cultivated area) and forested (upstream the cultivated area) sectors of each watershed during two expeditions, the first during the rainy season (01/13 to 02/03/1995), and the second during the dry season (06/16 to 07/20/1995), with eight samples collected per sampling point at three-day intervals. Water samples were analysed for 11 physical and chemical parameters of water quality: pH, electrical conductivity, total suspended solids, turbidity and concentrations of Cd, Ca, Mg, P, NO_2^- , NO_3^- and pesticide residues. Additionally, the agricultural production systems and the morphological and vegetational features of the watersheds were described, the daily rainfall was monitored, soil samples were collected and analysed, and the water depth applied by irrigation during the dry season was measured. Pronounced alterations on water quality parameters from the forested to the agricultural sectors were registered in all three watersheds, particularly for total suspended solids, turbidity, electrical conductivity, and total phosphorus. These effects were more significant on watersheds A and C, where proportional forest cover is lower and soil use is more intense. Residues of the insecticide aldicarb were detected in water samples collected from Watershed A during the dry season.

1 INTRODUÇÃO

(A crescente demanda mundial por produtos agrícolas (alimentícios, energéticos e fibras) tem desencadeado dois processos básicos: a expansão da fronteira agrícola) e o incremento no uso de insumos. Todavia, tais processos comumente (geram alguns problemas graves. A expansão da fronteira agrícola, por exemplo, muitas vezes se dá através da incorporação de áreas que comportam ecossistemas frágeis, inadequados do ponto de vista ambiental, ou então explorando os recursos em nível superior à capacidade de uso dos sítios.) Já o aumento da intensidade do uso de insumos agrícolas, especialmente os agroquímicos, ocorre quase sempre sem um estudo mais abrangente e profundo das conseqüências de seu emprego indiscriminado. Em tal situação, o risco de degradação ambiental é cada vez mais elevado, com graves implicações e conseqüências ambientais, econômicas e sociais.

(O ecossistema aquático é um dos ambientes que podem ser afetados pela atividade agrícola, particularmente quando mal conduzida.) Pois além de distúrbios ecológicos, a qualidade da água pode ser alterada de forma prejudicial. (As atividades antrópicas têm prejudicado a qualidade e a quantidade das águas superficiais pela descarga de efluentes sem qualquer tratamento e pelo uso e manejo inadequados do solo. As atividades agropastoris e florestais têm sido citadas como causadoras de alteração graves das características físicas, químicas e biológicas da água bem como de sua quantidade (Anjos e Sperling 1993; Pardo 1994; Rao et al. 1983; Alvarenga e Souza 1995; Resende e Pinto 1985; Cessna et al. 1994; Schreber, Smith e Cullum 1993; Seta et al. 1993). Contudo, são poucas ainda as pesquisas conclusivas nesta área.) Dentre as atividades agrícolas, o cultivo de hortaliças é uma das atividades mais preocupantes, pois além de demandar considerável quantidade de agroquímicos e de utilizar sistematicamente a

irrigação, a qual pode atuar como agente disseminador desses produtos no ambiente (Cessna et al. 1994), é realizado em áreas rurais ribeirinhas (Oliveira Filho 1991; Resende e Pinto 1985). O escoamento superficial oriundo de terras cultivadas pode carrear sedimentos, fertilizantes químicos, e pesticidas, todos os quais capazes de degradar a qualidade da água e afetar os ecossistemas de riachos, lagos, reservatórios e estuários (Seta et al. 1993). Além dos prejuízos ao ambiente aquático, as populações humanas podem ser afetadas, particularmente quando há captação d'água para o abastecimento (Azevedo 1991; Resende e Pinto 1985). Tal situação torna-se cada vez mais preocupante, pois sabe-se que apenas alguns dos constituintes nocivos das águas poluídas são removidos com muita dificuldade pelos métodos convencionais de tratamento de água, mas nunca de forma absoluta, por qualquer método de tratamento (Branco e Rocha 1977).

Estudos que definam critérios de qualidade de água fornecem subsídios para avaliar as alterações ambientais decorrentes das atividades antrópicas e propor medidas que reduzam os efeitos negativos causados por elas (Barbosa et al. 1995).

Este trabalho procura verificar se atividades agrícolas praticadas em três sub-bacias hidrográficas dos municípios de Conselheiro Lafaiete e Itaverava, Minas Gerais, provocam alterações em parâmetros físico-químicos de qualidade de água e analisar estas alterações sob a luz das características particulares de cada bacia. Em um nível mais detalhado os objetivos consistem em:

- (a) caracterizar as sub-bacias em termos de morfologia, solos e cobertura vegetal;
- b) caracterizar os sistemas de produção agrícola adotados;
- c) quantificar os parâmetros físico-químicos de qualidade de água no deflúvio dos estratos florestal e agrícola (a jusante do florestal) de cada sub-bacia;
- (d) analisar comparativamente os parâmetros físico-químicos de qualidade de água do deflúvio entre os dois estratos considerados (florestal e agrícola) e entre as sub-bacias hidrográficas estudadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A água como um indicador da qualidade ambiental

A água é um recurso peculiar, pois além de servir a uma ampla gama de usos, possui também a qualidade de atuar como uma substância indicadora dos resultados da manipulação da terra pelo homem. A qualidade de cada corpo d'água está relacionada à geologia, ao tipo de solo, ao clima, ao tipo e quantidade de cobertura vegetal e ao grau e tipo de atividade humana dentro da bacia hidrográfica (EPA 1988; Valente e Castro 1981). Assim, os rios que drenam certa área apresentam suas águas com características físicas e químicas próprias, as quais refletem as atividades de uso do solo das áreas a montante (Ranzini 1990).

A água que compõe os cursos d'água é oriunda do escoamento direto e do escoamento base, compostos, respectivamente, pela fração da chuva que alcança o curso d'água durante e logo após a chuva. O deflúvio de uma bacia hidrográfica resulta de fluxos líquidos superficiais e subsuperficiais (Resende et al. 1995) e pode ser considerado como o produto residual do ciclo hidrológico, o qual é influenciado por três grandes grupos de fatores: clima, fisiografia e uso de solo. Desta forma, a qualidade da água de uma bacia hidrográfica depende das interações que a mesma tem no sistema, tanto no plano espacial quanto temporal. Assim, quanto maior o tempo de residência da água em uma bacia hidrográfica, maiores poderão ser as alterações em suas características físicas, químicas e biológicas (Ranzini 1990).

A disponibilidade de água doce para os diversos usos da comunidade está relacionada à quantidade dos corpos d'água existentes. A existência de uma fonte poluidora, em uma região de baixa densidade de drenagem, gera muito mais impacto ao ambiente aquático do que em regiões de maiores densidades (Resende e Pinto 1985).

2.2 Características da água

Os diversos componentes presentes na água e que alteram o seu grau de pureza podem ser descritos em termos das suas características físicas, químicas e biológicas, e são explicitados na forma de parâmetros de qualidade de água (Branco 1991; Branco e Rocha 1977).

As características físicas estão relacionadas, em sua maior parte, aos sólidos presentes na água. Os sólidos podem ser classificados de acordo com a sua dimensão (sólidos em suspensão, sólidos coloidais e sólidos dissolvidos) e seu estado ou característica química (sólidos orgânicos e sólidos inorgânicos). As características químicas da água podem ser interpretadas através de duas categorias: matéria orgânica ou inorgânica. As características biológicas da água podem ser descritas pela presença de organismos, vivos ou mortos (Sperling 1994).

2.2.1 Principais parâmetros físico-químicos de qualidade de água relacionados com a atividade agrícola

a) Cádmio:

O cádmio assim como outros metais pesados (também denominados elementos-traço), tais como Hg, Pb, Ag, Cr, Ni e Sn, não tem função biológica definida. A toxidez dos metais pesados reside principalmente na sua capacidade de interferir nos processos enzimáticos e na sua baixa mobilidade nos organismos, a qual faz com que eles se acumulem, provocando modificações no metabolismo, podendo até causar a morte dos organismos contaminados. Desta forma, a contribuição de metais pesados e seus íons para problemas de poluição aquática é muito preocupante, mesmo em baixas concentrações (Esteves 1988; Branco e Rocha 1977).

As principais fontes naturais de metais pesados para o ambiente aquático continental são as rochas e o solo, que pela ação dos processos de intemperismo, de erosão e de escoamento superficial liberam esses elementos e os transportam até os corpos d'água (Esteves 1988). Todavia, mais recentemente, as atividades antrópicas têm assumido grande importância no lançamento de metais pesados aos cursos d'água. As áreas agrícolas cultivadas com uso de fertilizantes químicos e pesticidas (que contêm vários elementos-traço, como o Cd, Hg e Pb) podem, portanto, contribuir para a contaminação de mananciais.

Porto (1991) cita que o cádmio em concentrações de 0,36 mg/l causa problemas de reprodução em crustáceos (*Daphnia*) e peixes. Uma concentração próxima a 1 µg/l foi observada por Durum et al. (1971 apud Hem 1986) em sua pesquisa sobre o conteúdo de metais nas águas de superfície dos Estados Unidos. De 726 amostras, cerca de 4 % continham mais do que 10 µg/l, que é o limite máximo permitido para águas de abastecimento público, definido pelas regulamentações sobre água potável da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, em 1976.

b) Cálcio e Magnésio:

A esses dois cátions, Ca^{2+} e Mg^{2+} , é frequentemente associada a dureza da água, definida como a característica que decorre da concentração de cátions multimetálicos em solução e expressa em carbonato de cálcio (Sperling 1994). O cálcio é um constituinte essencial de muitos minerais presentes em rochas ígneas e metamórficas. Desta forma, deve ser esperado pelo menos um pouco de cálcio na água que teve contato com essas rochas (Hem 1986).

As águas continentais apresentam grandes variações de concentração de seus principais cátions e ânions. Este fato está relacionado principalmente com as características geológicas da bacia de drenagem e com as condições climáticas a que esta está submetida (Esteves 1988). Águas de rios de regiões mais áridas, especialmente onde rochas mais solúveis estão expostas, tendem a ter concentrações de cálcio dissolvido muito mais altas do que águas de rios de regiões onde ocorrem mais chuvas (Hem 1986). Esteves (1988) cita alguns exemplos de diferenças observadas nas concentrações de alguns cátions e ânions nas águas da região amazônica, resultantes das peculiaridades da geologia local. As fontes de íons dos rios que drenam a região periférica ocidental (caso do Rio Solimões e do Rio Madeira) residem no intemperismo da cordilheira dos Andes que, por ser mais jovem (terciária), fornece maiores quantidades de cátions e ânions do que os corpos d'água cujas bacias de drenagem originam-se no planalto central e Guianas (Rio Negro e lago Tarumã-Mirim), regiões geoquimicamente mais velhas e pobres. As concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} determinadas nas águas do Rio Solimões foram de 7,2 mg/l e 1,1 mg/l, respectivamente, ao passo que nas águas do Rio Negro foram de 0,2 mg/l e 0,1 mg/l.

c) Condutividade elétrica:

Condutividade elétrica é a capacidade de uma substância em conduzir corrente elétrica. No caso particular da água (soluções aquosas), esta propriedade está diretamente relacionada com a concentração total de substâncias dissolvidas ionizadas e com a temperatura na qual é realizada a medição (Hem 1986). Constituindo uma das variáveis mais relevantes em estudos de mananciais, a condutividade elétrica pode fornecer informações importantes, tanto sobre o metabolismo do ecossistema aquático (particularmente a produção primária), como sobre fenômenos que ocorrem na bacia de drenagem (magnitude da concentração iônica, detecção de fontes poluidoras, escoamento superficial, diferenças geo-químicas etc.) (Esteves 1988).

A condutividade elétrica não indica a natureza das substâncias presentes na água, mas sim as alterações nas concentrações dos íons em dissolução (Barbosa 1981). Diversos fatores podem influenciar na composição iônica dos corpos d'água, como a geologia da área de drenagem dos efluentes, o regime de chuvas e a atividades antrópicas exercidas na bacia hidrográfica. Os íons mais diretamente responsáveis pelos valores de condutividade elétrica em mananciais são alguns macronutrientes, tais como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} e Cl^- , ao passo que outros, como NO_2^- , NO_3^- e HPO_4^{2-} , têm menor influência (Esteves 1988).

As relações que afetam a condutividade elétrica, mesmo em soluções bem simples podem, todavia, ser complicadas. Contudo, as águas naturais não são soluções simples, pois contém diversas substâncias, iônicas e indissociáveis, em proporções enormemente variáveis, o que torna ainda mais complexa a relação da condutividade elétrica com as concentrações de íons ou sólidos dissolvidos (Hem 1986).

d) Fósforo:

Segundo Esteves (1988), o fósforo presente em águas naturais, quer na forma iônica ou complexada, encontra-se sob a forma de fosfato. Do ponto de vista limnológico, todas as formas de fosfato são importantes. No entanto, os ortofosfatos assumem maior relevância, por serem a principal forma de fosfato assimilada pelos vegetais aquáticos, pois são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico, sem necessidade de conversões a formas mais simples.

As espécies iônicas em que os ortofosfatos se apresentam na água dependem do pH do meio. Em águas continentais, onde a faixa mais frequente de pH situa-se entre 5 e 8, as espécies iônicas predominantes, são H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} (Hem, 1986). O fosfato presente em ecossistemas aquáticos têm origem natural e antropogênica. As principais fontes naturais são provenientes da dissolução de compostos do solo e da decomposição da matéria orgânica. Já as fontes artificiais mais importantes são os despejos domésticos e industriais, os excrementos de animais, os fertilizantes agrícolas e os materiais particulados presentes na atmosfera (Esteves 1988; Barroso e Silva 1992). O fósforo, por apresentar mobilidade extremamente baixa nos solos, mesmo nas formas iônicas, é dificilmente lixiviável. Entretanto, ele pode ser carregado para ecossistemas aquáticos pelas águas de escoamento superficial, adsorvido às argilas (Esteves 1988; Castro 1987).

Na maioria dos ecossistemas aquáticos continentais, o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Além disso, devido ao aporte de nutrientes, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial dos corpos d'água (Esteves 1988).

As concentrações de fosfato encontradas em águas naturais não são normalmente superiores a alguns décimos de miligrama por litro. Hem (1986) cita que, em estudos realizados no Rio Ohio, EUA, a concentração de 0,1 mg/l de fosfato dissolvido predomina na maior parte de seu curso, embora registros obtidos pelo Serviço Geológico tenham indicado que próximo à foz a concentração média de fósforo total na década de 70 foi de 0,58 mg/l, incluindo todas as formas de fósforo, algumas das quais particuladas. Isto indica que algum tipo de interferência ao longo da bacia altera profundamente os níveis de fósforo.

e) Nitrito e Nitrato:

O nitrogênio alterna-se em várias formas e estados de oxidação dentro de seu ciclo na biosfera. No meio aquático ele pode ser encontrado na forma de nitrogênio molecular (N_2), de nitrogênio orgânico (dissolvido ou em suspensão), de nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) (Sperling 1994). Os processos pelos quais o gás N_2 é convertido para compostos químicos contendo nitrogênio são denominados fixação do nitrogênio. A fixação biológica é realizada por organismos fotossintetizadores (principalmente as algas cianofíceas) e por certas espécies de bactérias heterotróficas que utilizam material orgânico como fonte de energia (Esteves 1988). Já

a fixação inorgânica ocorre naturalmente pelo carreamento do nitrato presente na atmosfera para os corpos d'água através das precipitações (Hem 1986). No processo de decomposição da matéria orgânica, há formação de compostos nitrogenados reduzidos, como por exemplo a amônia (NH_3) e o íon amônio (NH_4^+). Estas formas reduzidas são convertidas pelas bactérias nitrificantes primeiramente a nitrito (pelas *Nitrossomonas*) e posteriormente a nitrato (pelas *Nitrobacter*) (Esteves 1988). Os nitratos podem provir ainda do próprio solo, em regiões salitradas naturalmente ou adubadas quimicamente (Branco 1986). A influência do homem no ciclo do nitrogênio inclui, além da produção e uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, os despejos domésticos e industriais ricos em matéria orgânica e os resíduos de excrementos de animais (suínos, bovinos etc.).

Segundo Sperling (1994), a importância do nitrogênio nos ambientes aquáticos se deve principalmente aos seguintes aspectos:

- estar, tanto na forma de nitrito como de nitrato, associado a metahemoglobinemia, a qual pode causar o envenenamento grave e até fatal em crianças pequenas. Concentrações na água de 1 mg/l de NO^-2 e 10 mg/l de NO^-3 representam os níveis máximos de tolerância para crianças;

- por ser um elemento indispensável para o crescimento de algas. Contudo, concentrações elevadas podem produzir um crescimento exagerado destes organismos, acelerando o processo de eutrofização de lagos e represas;

- afetar a vida aquática, devido ao aumento no consumo de oxigênio dissolvido na água pelos organismos que atuam nos processos de conversão da amônia a nitrito e deste a nitrato;

- ser tóxico aos peixes na forma de amônia;

- ser um parâmetro importante na avaliação da poluição de um corpo d'água, pois a forma predominante do nitrogênio fornece informações sobre o nível e a fonte de poluição.

O nitrato é prontamente transportado na água e é estável numa faixa considerável de condições. Já o nitrito é instável em águas aeradas e é, por esse motivo, considerado como um indicador de poluição da água por resíduos orgânicos. A presença de nitrato poderia ser também indicativa deste tipo de poluição, embora indique que a poluição teria ocorrido em um local ou em uma época distantes da amostragem (Hem 1986).

A concentração de nitrito em águas naturais comparada à concentração de nitrato, é normalmente baixa, sendo essas geralmente menores do que 1 mg/l como N. Águas de pequenos cursos d'água situados em regiões agrícolas tem, às vezes, concentrações de nitrato superiores a 10 mg/l de NO_3^- (Hem 1986). Hem (1986) cita a importância da lixiviação do solo de áreas agrícolas como um dos processos responsáveis pelo aumento das concentrações de nitrato nas águas dos rios. O Rio Iowa em Iowa city, EUA, por exemplo, tinha concentrações médias de nitrato próximas de 10 mg/l sendo que os picos de concentração elevada ocorrem durante os períodos de irrigação dos campos cultivados.

f) pH:

O pH é um dos parâmetros de qualidade de água mais importantes para os estudos de produtividade biológica, uma vez que condiciona, basicamente, os demais processos físico-químicos num corpo d'água que podem ser fatores limitantes dos processos fisiológicos ali estabelecidos (Barbosa 1981). Todavia, o pH é um dos parâmetros ambientais mais difíceis de ser interpretado devido ao grande número de fatores que podem influenciá-lo, como, por exemplo, os sólidos e gases dissolvidos, a dureza, a alcalinidade, a temperatura e os fatores bióticos (Esteves 1988).

O pH atua diretamente nos processos de permeabilidade da membrana celular, interferindo, portanto, no transporte iônico entre os organismos e o meio. Por outro lado, as comunidades aquáticas podem interferir nos valores de pH, como por exemplo através da absorção de CO_2 do meio pelos organismos fotossintetizadores, que pode provocar a elevação do pH durante o dia e a sua redução durante a noite (Esteves 1988).

g) Sólidos totais em suspensão:

Águas naturais, subterrâneas ou de superfície, carregam partículas suspensas. As quantidades de sólidos em suspensão nas águas subterrâneas são em geral muito pequenas. Porém, em águas fluviais, a concentração de material suspenso pode ser alta e, em condições de altos fluxos (correnteza), ela pode suplantar a concentração de sólidos dissolvidos (Hem 1986).

A classificação por classe de tamanho dos sólidos presentes na água é sobretudo um procedimento essencialmente prático. Por convenção, diz-se que as partículas de menores

dimensões, capazes de passar pelo filtro de membrana com poros de 0,45 μm , são denominadas sólidos dissolvidos, ao passo que as de maiores dimensões, retidas pelo filtro, são consideradas sólidos em suspensão (Sperling 1994). Os sólidos em suspensão apresentam partículas grandes o suficiente para produzir disseminação substancial da luz, atenuando assim, a penetração da radiação luminosa nos corpos d'água, a qual poderia ser absorvida e transformada em energia química, pela realização da fotossíntese, e calorífica, pelo aquecimento da água. Além disso, alguns tipos de material em suspensão podem ter importante impacto sobre as condições sanitárias da água (Esteves 1988). Os sólidos em suspensão podem também contribuir para o aumento da turbidez, prejudicando aspectos estéticos da água e a produtividade do ecossistema pela diminuição da penetração de luz (Porto 1991; Branco e Rocha 1977). Outra propriedade física das partículas em suspensão que tem grande significância é a sua superfície específica por unidade de peso, pois isto afeta diretamente as substâncias a elas associadas (Hem 1986).

h) Turbidez:

A turbidez da água deve-se à dispersão dos raios luminosos causada pela presença dos diversos tipos de sólido. Os principais responsáveis pela turbidez da água são os sólidos em suspensão e, em menor proporção, os sólidos dissolvidos, os quais provocam a difusão e absorção da luz, alterando assim a sua penetração na água (Esteves, 1988). A turbidez, retrata, portanto, a quantidade de sólidos presentes na água (bactérias, plâncton, argila, silte e detritos orgânicos e inorgânicos) (Porto 1991).

O grau de penetrabilidade da radiação luminosa em uma massa d'água constitui um fator de fundamental importância ecológica. Com efeito, as possibilidades de vida em um manancial repousam, quase sempre, na quantidade de alimento orgânico sintetizado pela atividade das algas e de outros organismos fotossintetizadores, os quais dependem diretamente da quantidade bem como da qualidade da luz que os atinge (Branco 1986).

Segundo Branco (1986), o aumento da turbidez pode afetar a vida aquática de um manancial principalmente das seguintes maneiras:

- a) dificultando a penetração da radiação solar essencial à produção de fotossíntese;
- b) ocasionando soterramentos constantes dos organismos bentônicos e, ainda, arrastando para o fundo certos organismos que vivem em suspensão;

c) alterando as características dos leitos dos mananciais favoráveis ao desenvolvimento de peixes, por exemplo, destruindo ovos e soterrando abrigos necessários à sua reprodução;

d) danificando as estruturas das guelras dos peixes pela ação abrasiva das partículas;

e) causando asfixia nos animais aquáticos pelo depósito de partículas nos seus órgãos respiratórios.

Sólidos totais em suspensão e turbidez são parâmetros indicativos da erodibilidade natural do solo, de recebimento de efluentes domésticos, industriais e agrícolas e de águas de chuvas ou de irrigação (Anjos e Sperling 1993). Branco (1986) cita que valores de turbidez acima de 100 uT eliminam praticamente todo o desenvolvimento de algas.

2.3 Sub-bacias hidrográficas como unidades de estudo, pesquisa e planejamento

O termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica delimitada por divisores de água. Este compartimento é drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes (Silva 1995). Os conceitos de bacia e sub-bacias se relacionam a ordens hierárquicas dentro de uma determinada malha hídrica (Fernandes e Silva 1994). Cada bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Portanto, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos.

Por constituírem ecossistemas com o predomínio de uma única saída, as bacias hidrográficas tornam possível a realização de uma série de experimentos (Valente e Castro 1981). As bacias hidrográficas também constituem ecossistemas adequados para avaliação dos impactos causados pela atividade antrópica que podem acarretar riscos ao equilíbrio e à manutenção da quantidade e a qualidade da água, uma vez que estas variáveis são relacionadas com o uso do solo (Fernandes e Silva 1994; Baruqui e Fernandes 1985).

A subdivisão de uma bacia hidrográfica de maior ordem em seus componentes (sub-bacias) permite a pontualização de problemas difusos, tornando mais fácil a identificação de focos de degradação de recursos naturais, da natureza dos processos de degradação ambiental instalados e o grau de comprometimento da produção sustentada existente (Fernandes e Silva 1994).

2.4 Função protetora da cobertura florestal nos ecossistemas

A vegetação é a defesa natural de um ecossistema contra sua rápida degradação, sendo que o componente mais dependente desta proteção é o solo. Mesquita, Oliveira e Pereira (1992) ressaltam que os principais efeitos protetores da vegetação sobre os ecossistemas são:

- proteção da superfície do solo contra o impacto direto das gotas de chuva;
- dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo;
- decomposição das raízes das plantas que, ao formar canalículos no solo, aumentam a infiltração de água;
- melhoria da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, o que aumenta sua capacidade de retenção de água;
- diminuição da velocidade de escoamento superficial pelo aumento do atrito na superfície.

Quando desprovido da cobertura vegetal e da ação fixadora das raízes, o solo fica exposto ao impacto direto das gotas d'água ou do vento e sofre desagregação e remoção de suas partículas, efeito este complementado pelo escoamento superficial das águas (Mesquita, Oliveira e Pereira 1992; Baruqui e Fernandes 1985). A vegetação protege ainda o solo contra a erosão ao manter uma alta razão de infiltração de água, ao passo que as raízes exercem uma função de travamento do solo (Pereira 1994).

Mesquita, Oliveira e Pereira (1992) destacam ainda que, além da redução da erosão e da enxurrada, a cobertura vegetal proporciona ainda

- menor lixiviação dos elementos nutritivos prontamente assimiláveis;
- atenuação do aquecimento excessivo do solo pelos raios solares diretos, propiciando condições mais favoráveis à atividade biológica;
- enriquecimento do solo em matéria orgânica;
- proteção da superfície do solo, contra a formação de crostas, aumentando assim a taxa de infiltração da água no solo e reduzindo a taxa de evaporação pela reflexão da energia solar;

2.5 Interferências nos ecossistemas aquáticos causados pelas atividades agrícolas

2.5.1 Erosão do solo

Pereira (1994) conceitua erosão como um processo de desgaste da superfície terrestre pelo qual as partículas de solo e rocha são carregadas pela água, vento ou geleiras sob a forma de arraste, rolamento ou mesmo suspensão na água ou ar. Quando a erosão resulta apenas de forças da natureza, sem a influência do homem, ela é denominada erosão geológica ou natural. A erosão geológica é que molda a superfície terrestre e seu efeito carece de importância agrícola, pois é equilibrado pelo processo de gênese do solo.

A erosão acelerada se estabelece quando os elementos naturais de equilíbrio são suprimidos, expondo o solo a agentes erosivos que aceleram o processo, constituindo um fenômeno de alto significado agrícola e ambiental (Bahia et al. 1992). Do ponto de vista agrônomo, apenas a água e o vento são estudados como agentes de erosão do tipo acelerada, sendo que nas condições brasileiras, a erosão hídrica é considerada mais grave que a eólica.

Segundo Pereira (1994), os principais fatores que afetam a erosão são os climáticos (quantidade, duração, intensidade, frequência e distribuição da precipitação pluviométrica e do vento); fisiográficos (declividade, comprimento de rampa e curvatura de declive); edáficos (natureza e características físicas e químicas do solo) e vegetacionais (tipo, densidade, fisionomia etc.); além das práticas de manejo adotadas.

Segundo Bahia et al. (1992), três processos atuam na erosão do solo agrícola: desagregação, transporte e deposição das partículas do solo, matéria orgânica e nutrientes minerais. A desagregação das partículas de solo pelo efeito integrado da energia de impacto das gotas d'água e da turbulência do escoamento superficial constitui o estágio inicial e mais importante do processo de erosão hídrica (Castro 1987). Assim, o escoamento irá arrastar não só as partículas recém-desagregadas pela gota d'água, mas, também, aquelas desagregadas pela energia cinética da enxurrada (Almeida 1981).

A água que escorre superficialmente é o principal agente de transporte das partículas do solo e de outras substâncias lá presentes. O volume e a velocidade da enxurrada dependem da razão infiltração/precipitação; da intensidade, duração, frequência e distribuição da chuva; da

posição do solo na paisagem, da cobertura vegetal e da declividade e do comprimento de rampa. Quanto maior o volume e a velocidade da enxurrada, maior será a capacidade para desprender e transportar sedimentos. Os materiais de solo arrastados e posteriormente depositados pelo movimento da água são geralmente selecionados pela suas dimensões. Partículas menores e mais leves (argila, silte e matéria orgânica) são transportadas a grandes distâncias e depositam-se em maior proporção nos corpos d'água, enquanto as maiores e mais pesadas geralmente são depositadas principalmente nos vales ou depressões do terreno (Bahia et al. 1992; Resende 1985; Resende e Almeida 1985; Ferreira 1994).

Experiência e observação têm demonstrado exaustivamente a eficiência da vegetação em melhorar as condições de infiltração da água no perfil do solo e, conseqüentemente, reduzir a enxurrada e erosão. A substituição da cobertura vegetal natural, a adoção de mecanização intensiva, o uso de corretivos, fertilizantes e outras práticas modernas de cultivo têm, de modo geral, favorecido o processo erosivo (Fernandes 1982). Fernandes (1982) ressalta ainda que os efeitos maléficos da erosão devido a processos induzidos pelas práticas agrícolas ganham proporções muito maiores quando vêm associados a características e propriedades desfavoráveis do solo, que lhe conferem uma elevada erodibilidade.

2.5.2 Transporte de nutrientes

Segundo Pereira (1994), grandes quantidades de nutrientes são perdidas anualmente em áreas de cultura. Resende, Curi e Santana (1988) destacam que as perdas de nutrientes nos solos se processam principalmente através de erosão e lixiviação. As perdas por erosão são, em geral, muito mais pronunciadas do que aquelas por lixiviação, principalmente quanto ao fósforo. Nesse processo, os nutrientes são levados dissolvidos ou em suspensão na água de enxurrada, ou carregados adsorvidos às partículas de solo erodidas.

As perdas de nutrientes por erosão são mais acentuadas nos solos com maior declividade e comprimento de rampa; ao passo que as perdas por lixiviação são mais importantes nos solos planos e muito permeáveis (Resende e Almeida 1985).

2.5.3 Transporte de pesticidas

A poluição das águas por pesticidas pode ocorrer por via direta ou indireta. A poluição por via direta ocorre quando os pesticidas são lançados diretamente sobre os mananciais, através da descarga de resíduos industriais, da aplicação destes produtos sobre os corpos d'água e da lavagem e abastecimento de pulverizadores nos próprios mananciais. Já a poluição por via indireta ocorre a partir das aplicações normais sobre as plantas e sobre o solo, nas quais os pesticidas podem ser transportados até os mananciais pela ação da água (de chuvas ou de irrigação) ou do vento (Azevedo 1991).

Existem basicamente dois caminhos pelos quais os pesticidas podem ser transportados pela água e atingir os mananciais hídricos:

- sobre a superfície do solo, quando os pesticidas são arrastados juntamente com a água que não consegue infiltrar no solo (enxurrada), caracterizando o escoamento superficial, e
- através do perfil do solo, quando os pesticidas podem ser transportados juntamente com a água que infiltra, caracterizando a lixiviação.

Os pesticidas podem assim atingir diretamente os mananciais hídricos ou o lençol freático e conseqüentemente poços, minas e demais corpos d'água (Rao et al. 1983). A importância relativa dessas duas formas de transporte depende em grande parte do tipo de solo e relevo da região. Nos solos planos e muito permeáveis as perdas por lixiviação são mais importantes, ao passo que em solos acidentados as perdas por escoamento superficial assumem maior importância.

Por serem em sua maioria muito pouco voláteis, o movimento dos pesticidas no solo ocorre principalmente por fluxo de massa, juntamente com a água. A taxa de movimento desses compostos é governada principalmente pelo próprio movimento da água no solo, ou seja, pela condutividade hidráulica do solo. O movimento desses compostos depende portanto, entre outras coisas, da quantidade de água que percola o perfil do solo (Rigitano 1993).

A solubilidade/sorção dos pesticidas são propriedades particulares dos pesticidas que também influenciam o movimento desses compostos no solo. A solubilidade de um pesticida e sua sorção nas partículas do solo são inversamente relacionadas. Os pesticidas com maior solubilidade são mais facilmente transportados às águas superficiais ou subterrâneas através do

escoamento superficial ou da lixiviação, ao passo que os pesticidas adsorvidos nas partículas do solo somente são transportados se carregados junto às partículas do solo, às quais eles estão adsorvidos, pelo processo de erosão (Rao et al. 1983).

Um dos índices mais utilizados para quantificar o grau de sorção dos pesticidas é o coeficiente de partição ou distribuição (K_d). O valor do K_d é definido como a razão da concentração do composto adsorvido nas partículas do solo e dissolvido na água do solo. Existe uma estreita correlação entre o valor de K_d , o teor de matéria orgânica do solo e a polaridade do pesticida, implicando que a sorção de pesticidas em solos está relacionada com o fenômeno de partição dos compostos entre a matéria orgânica do solo e a água. Quanto menor o valor de K_d , maior será a proporção do composto na água do solo e, portanto, maior será a sua mobilidade potencial (Rigitano 1993).

A meia-vida dos pesticidas é outra importante propriedade para a avaliação do seu potencial de contaminação dos corpos d'água. Meia-vida é definida como o tempo requerido para que a metade da quantidade aplicada de um pesticida seja degradada. Para pesticidas com meia-vida curta (menos de 30 dias), a possibilidade de poluição das águas superficiais ou águas subterrâneas depende primeiramente da ocorrência de chuvas pesadas ou de irrigação logo após a sua aplicação. Sem água para movimentar-se, os pesticidas com meia-vida curta podem permanecer biologicamente ativos na zona das raízes no solo e degradar-se rapidamente (Rao et al. 1983).

As características de sítio (do ambiente), bem como as características inerentes aos pesticidas, tais como a sua solubilidade/sorção, meia-vida e coeficiente de partição, são particularmente importantes quando o local de aplicação de um determinado pesticida é próximo a cursos d'água (águas superficiais) ou em área com sub-solo permeável e com aquífero (águas subterrâneas) pouco profundo (Rao et al. 1983).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição geral da área de estudo

A área de estudo compreende três sub-bacias hidrográficas localizadas na região limítrofe dos municípios de Conselheiro Lafaiete (sub-bacia B) e Itaverava (sub-bacias A e C), em Minas Gerais, situando-se entre as coordenadas geográficas 20°35' e 20°40' de latitude sul e 43°40' e 43°45' de longitude oeste (Figura 1).

Pela classificação de Köppen, a área estudada compreende o tipo climático Cwb subtropical de altitude. De acordo com registros do DNMet (1992), as temperaturas médias mensais em Conselheiro Lafaiete variam entre 16,5 (julho) a 21,5°C (janeiro), sendo a média anual histórica de 19,4°C (período de 1961 a 1990). O período chuvoso normalmente se estende de outubro a março, sendo dezembro e janeiro os meses que apresentam as maiores precipitações, com médias de 290,7 (dezembro) e 280,1 mm (janeiro). A precipitação média anual histórica (período de 1978 a 1990) da região é de 1463,7 mm e o número médio de dias de chuva por ano é de 126 (DNMet 1992).

Os solos da área de estudo têm, em geral, elevados teores de argila, predominando os Latossolos vermelho-amarelo distróficos, distribuídos sobretudo em colinas de topo aplainado e vertentes convexas*. Pontualmente ocorrem solos Podzólicos vermelho-amarelos nas vertentes côncavas e em antigos terraços fluviais. Nas planícies fluviais ocorrem solos Aluviais com inclusão de solos hidromórficos (Gley pouco húmico). Além destes, ocorrem ainda Cambissolos distróficos originados de rochas cristalinas (migmatitas, gnaisses e muscovita xisto).

* FERNANDES, M. R. Comunicação Pessoal (1995)

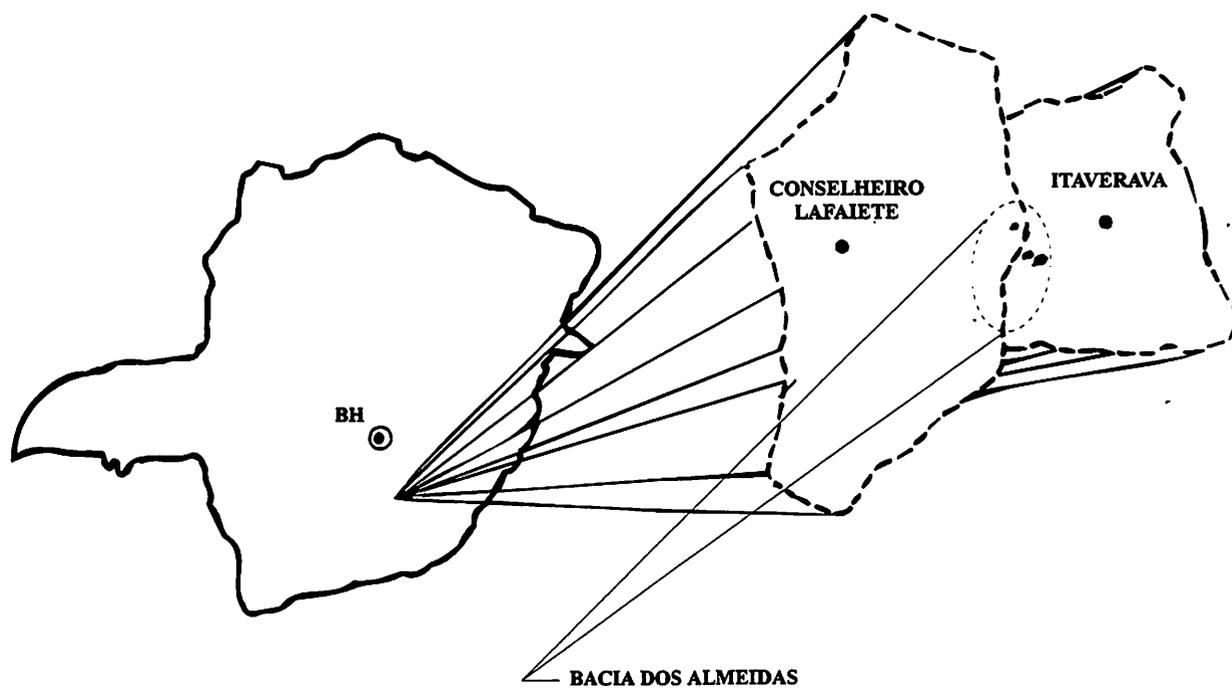


FIGURA 1 - Localização geográfica das sub-bacias hidrográficas estudadas.

3.2 Procedimentos de campo e laboratório

3.2.1 Descrição das sub-bacias hidrográficas

Os estudos foram conduzidos entre 13 de janeiro e 20 de outubro de 1995 em três sub-bacias hidrográficas, aqui identificadas como sub-bacias A, B e C, selecionadas para atender ao objetivo de avaliar as alterações físico-químicas nos deflúvios ocorridas entre áreas não cultivadas — ou ‘estrato florestal’ — e sob atividades agrícolas — ou ‘estrato agrícola’ —, sendo o estrato agrícola localizado a jusante do florestal.

As três sub-bacias encontram-se na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Almeidas (Figura 2), a qual assume particular importância para a finalidade deste estudo, pois contém pequenos fragmentos florestais distribuídos nas propriedades rurais e sub-bacias que a formam, além de apresentar intensa atividade agrícola, em praticamente toda sua área de abrangência. O uso intensivo do solo e de insumos agrícolas, notadamente na exploração da cultura da batata, sugere impactos negativos, os quais podem refletir no ambiente aquático. Outro fato importante é a inserção nesta sub-bacia do manancial que contribui em cerca de 40 % para o abastecimento de água da população do município de Conselheiro Lafaiete. A Companhia de Saneamento do estado de Minas Gerais, COPASA-MG, está encarregada da estação de captação e tratamento de água.

As três sub-bacias hidrográficas foram escolhidas de acordo com dois critérios:

- a) cada sub-bacia deveria apresentar vegetação florestal nativa na sua cabeceira e atividade agrícola jusante;
- b) os cursos d'água deveriam ser de primeira ordem, ter sua nascente nas próprias sub-bacias e no interior das áreas com mata nativa, além de atuar como dreno natural dos dois estratos, florestal e agrícola.

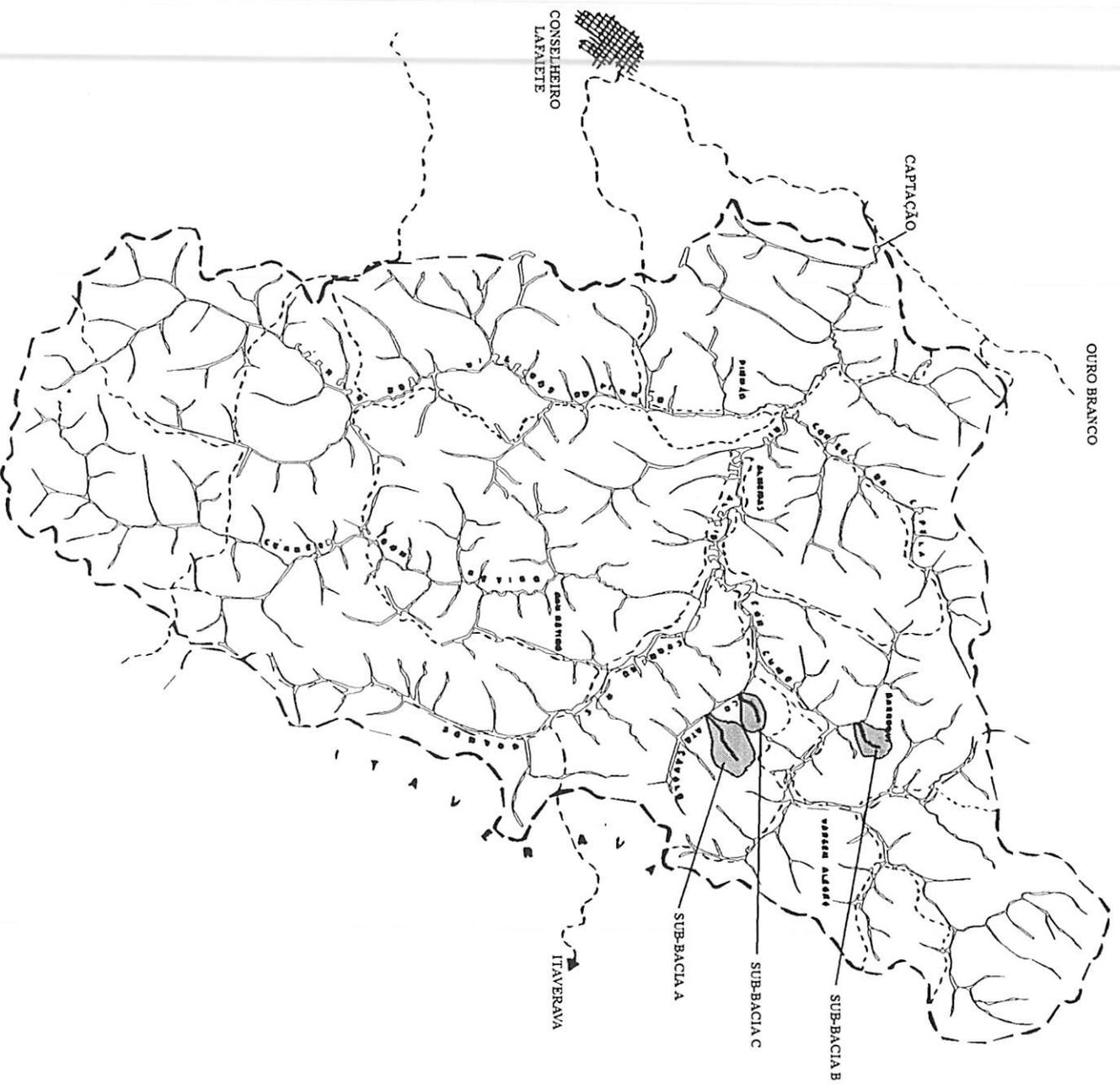


Figura 2 - Mapa da Bacia hidrográfica dos Almeidas, onde se encontram as três sub-bacias hidrográficas (A, B e C), com sua localização.

3.2.2 Morfologia das sub-bacias hidrográficas

Utilizando cartas planialtimétricas na escala 1:10.000, e fotografias aéreas e ortofotos na escala 1:30.000, determinaram-se alguns parâmetros morfológicos, tais como: a hierarquia fluvial, o comprimento dos cursos d'água, os perímetros e as áreas totais e parciais das sub-bacias hidrográficas estudadas. Seguindo os métodos descritos por Christofolletti (1980), foram também calculadas as seguintes características físicas das sub-bacias:

- o coeficiente de compacidade (K_c), também chamado de Índice de Gravelius, dado pela relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia;
- a densidade de drenagem, obtida pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água que compõem a bacia e a sua área (área de drenagem);
- a declividade média das sub-bacias, obtida pela ponderação das declividades das faixas compreendidas entre curvas de nível consecutivas e as áreas limitadas por essas faixas;
- a elevação média das sub-bacias, obtida através da ponderação das elevações médias entre duas curvas de nível e a área entre elas, em relação a área total da sub-bacia;
- a curva hipsométrica, que representa graficamente a variação da elevação dos vários terrenos da bacia com referência ao nível do mar;
- a declividade média dos cursos d'água, determinada pelo método da média simples, que consiste em estabelecer a razão entre a diferença total da elevação do leito pela distância horizontal do curso d'água desde a cabeceira até a foz (ou seção de controle).

Determinou-se também o perfil dos relevos e os comprimentos de rampa na porção média das três sub-bacias (corte transversal), através de levantamentos realizados no campo, com auxílio de clinômetro, trena e mira.

3.2.3 Determinação das precipitações pluviométricas

A determinação das precipitações foi realizada diariamente, durante os períodos de coleta das amostras do deflúvio, através de pluviômetros instalados nas sub-bacias A e B. Os dados da sub-bacia A foram estendidos à sub-bacia C devido à contigüidade entre as mesmas. As leituras nos pluviômetros foram realizadas diariamente entre 9:00 e 10:00 h da manhã.

3.2.4 Quantificação da lâmina d'água aplicada nas irrigações e de seus efeitos sobre o solo

Foi determinada a lâmina d'água aplicada nas irrigações das áreas de cultivo de batata (predominante nas sub-bacias) e seus efeitos sobre o solo a partir de levantamentos de campo conduzidos nas sub-bacias A e B, no período de estiagem. Estes levantamentos consistiram da coleta de amostras de solo e de água aspergida ao longo de uma linha representativa do sistema de irrigação de cada sub-bacia.

Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm para determinação das curvas de retenção do solo, da umidade anterior e posterior à irrigação e da densidade aparente do solo. As análises das amostras para fins da determinação da curva de retenção foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo do Departamento de Ciências do Solo da UFLA, seguindo os procedimentos descritos por Klute (1986), enquanto que as análises das amostras para determinação da umidade e densidade aparente do solo foram realizadas no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola da UFLA, de acordo com procedimentos recomendados pela EMBRAPA (1979). A densidade aparente foi determinada utilizando-se amostras indeformadas, obtidas através de um anel volumétrico de 4,7 cm de diâmetro e 6,0 cm de altura, sendo os valores de densidade calculados pela divisão do peso do solo seco (105°C , 24 h) pelo volume do anel. Para determinação da umidade gravimétrica, as amostras foram colocadas em latas de alumínio de peso conhecido e pesadas antes e depois de secagem em estufa ($105-110^{\circ}\text{C}$, 24 h).

Amostras de água aspergida foram coletadas durante aplicações (usualmente 1:30 h de duração), utilizando-se 12 coletores (200 ml) instalados a intervalos regulares entre dois aspersores na linha de irrigação (18 m entre aspersores). A lâmina d'água média aplicada por irrigação foi obtida a partir da conversão dos volumes coletados. A lâmina de água requerida pela irrigação foi calculada de modo a elevar a umidade do solo antes da irrigação para a capacidade de campo, utilizando-se os dados de umidade gravimétrica, densidade aparente e capacidade de campo fornecidos pelos laboratórios. Da diferença entre lâmina média aplicada e lâmina requerida avaliou-se o excesso ou déficit de água para cada profundidade de solo.

3.2.5 Caracterização da cobertura vegetal e uso da terra

A cobertura vegetal (florestal e agrícola) existentes nas três sub-bacias foi caracterizada através de levantamentos expeditos de campo. No caso da cobertura vegetal agrícola, o procedimento foi repetido nos períodos de chuva e estiagem. Além disso, foi conduzido um levantamento dos sistemas de produção das culturas agrícolas existentes nas três sub-bacias hidrográficas, incluindo os métodos de implantação e condução das lavouras lá estabelecidas. Enfocaram-se especialmente os aspectos relacionados ao uso e manejo do solo e dos insumos agrícolas, notadamente os agroquímicos. Os dados para caracterização dos sistemas de produção foram obtidos diretamente dos produtores rurais e técnicos representantes dos estabelecimentos de comercialização de insumos da região, por meio de entrevistas realizadas in loco, de observações e levantamentos de campo.

3.2.6 Amostragem da água dos deflúvios

Com o objetivo de estudar comparativamente alguns parâmetros de qualidade de água e relacioná-los com os dois tipos de estratos, florestal e agrícola, realizaram-se duas campanhas de coleta de amostras da água drenada do estrato florestal e do estrato agrícola das três sub-bacias hidrográficas estudadas, sendo uma representativa do período chuvoso (13/01/95 a 03/02/95) e outra representativa do período de estiagem (16/06/95 a 20/07/95), cada uma delas com oito coletas, realizadas de três em três dias. Os pontos de coleta das amostras de água foram estabelecidos em locais propícios e representativos tanto dos cursos d'água quanto dos dois estratos estudados.

Enfocaram-se neste estudo, as características físicas e químicas da água, por serem estas as mais diretamente relacionadas com as atividades agrícolas. Dentre elas, selecionaram-se os seguintes parâmetros: condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão, turbidez, pH e concentração de cádmio, cálcio, fósforo total, magnésio, nitrato e nitrito, além de resíduos de pesticidas.

Quatro amostras compostas de água foram tomadas em cada estrato de cada sub-bacia hidrográfica, a cada três dias. Para a coleta dessas amostras foram observadas as normas e

os procedimentos recomendados pela Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais (COPASA 1991), e utilizados os materiais de uso geral para tais coletas, como: recipientes para coleta e transporte das amostras, termômetro, relógio, fita crepe, caneta e ficha de coleta.

Na coleta das amostras de água para a determinação da condutividade elétrica, do pH, dos sólidos totais em suspensão e da turbidez, utilizaram-se bombonas de polietileno com capacidade de 5000 ml, que, no ato das coletas, eram enxaguadas três vezes na própria água a ser coletada. Tais bombonas foram enchidas com a água escoando pelas suas paredes internas e preenchidas totalmente, para evitar o borbulhamento e a presença de ar em seu interior.

Na coleta das amostras de água para determinação de nitrato, nitrito e fósforo total, utilizaram-se frascos de vidro escuro, com capacidade de 1000 ml, contendo 2 ml de ácido sulfúrico concentrado para preservação das amostras.

Na coleta das amostras de água para determinação do cádmio, cálcio e magnésio, utilizaram-se frascos de vidro escuro ou de polietileno com capacidade de 1000 ml, contendo 2 ml de ácido nítrico concentrado para preservação das amostras.

Para análise de resíduos de pesticidas, utilizaram-se frascos de 1000 ml de vidro escuro e boca larga protegida com papel alumínio. Os frascos foram previamente lavados com hexano e continham tiosulfato de sódio (100 mg/l) para preservação das amostras. Além disso, as amostras foram refrigeradas a aproximadamente 4°C imediatamente após a coleta por meio da colocação de gelo em volta dos frascos, dentro de uma caixa isotérmica de transporte.

3.2.7 Análise das amostras de água

3.2.7.1 Determinação dos parâmetros físico-químicos

As amostras de água coletadas nas três sub-bacias foram analisadas pelo Laboratório de Análises de Água e Efluentes da COPASA-MG, em Belo Horizonte, seguindo metodologias propostas por National Technical Advisory Committee (1968) e Train (1979). Foram determinadas as concentrações de:

- Cádmio, por espectrômetro de absorção atômica-EAA, com digestão ácida, chama ar-acetileno;

- Cálcio, através de métodos titulométricos e cálculos de conversão para dureza de cálcio;
- Condutividade elétrica, determinada por meio de condutivímetro, à temperatura de 25°C, sendo o resultado expresso em $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- Fósforo total, através de método colorimétrico por digestão oxidante (ácido sulfúrico e persulfato de amônio), seguida de reação com antimônio tártaro e molibdato de amônio. A leitura é feita a 880 nm;
- Magnésio por métodos titulométricos, obtendo-se a dureza total por cálculos de conversão;
- Nitrato, determinado por processo colorimétrico, através de secagem e reação com fenoldissulfônico, sendo a leitura feita a 510 nm e o resultado expresso em mg de NO_3^-/l ;
- Nitrito, determinado por processo colorimétrico, através de filtração em faixa azul, seguida de reação com sulfanilamida e naftilamina, sendo a leitura feita a 543 nm e o resultado expresso em mg de NO_2^-/l ;
- pH, através de determinação eletrométrica por eletrodo combinado, faixa de 0 a 14;
- Sólidos totais em suspensão, por determinação gravimétrica do resíduo de 250 ml da amostra homogeneizada e filtrada em membrana com porosidade de 0,45 μm , sendo o resultado expresso em mg de sólidos em suspensão/l;
- Turbidez, através de turbidímetro, sendo o resultado expresso em unidades de turbidez (uT).

3.2.7.2 Determinação dos resíduos de pesticidas

As amostras para análise de resíduos de pesticidas foram transportadas no mesmo dia de sua coleta para o Laboratório de Análise de Resíduos de Pesticidas do Departamento de Fitossanidade da UFLA, onde foram armazenadas em refrigerador até sua análise. As análises realizadas permitiram a identificação e quantificação dos resíduos de aldicarbe e de alguns produtos fosforados. Outros pesticidas utilizados nas culturas não foram analisados devido a carência de equipamentos e/ou material nos laboratórios contactados.

As amostras de água (500 ml) foram submetidas à extração dos resíduos através de três partições sucessivas com 50 ml de diclorometano, agitando-se as misturas vigorosamente por cerca de 2 minutos cada uma. As frações orgânicas foram passadas em 20 g de sulfato de sódio anidro (para remoção da água dissolvida) e conjuntamente coletadas em um balão de fundo redondo. Em seguida, procedeu-se à evaporação do diclorometano em rotavapor com banho a 50°C. Os resíduos foram diluídos em 1 ml de acetona e transferidos para um tubo de centrífuga. Alíquotas de 4 µl foram injetadas em cromatógrafo a gás (CG 370 D), equipado com detector fotométrico de chama operando com filtro de fósforo, para análise de compostos organofosforados.

Para análise do inseticida carbamato aldicarbe (marca comercial Temik), a amostra de 1 ml obtida conforme descrito anteriormente foi transferida para um balão de fundo redondo e a acetona eliminada através de um leve fluxo de ar proveniente de uma bomba pneumática. Em seguida, os resíduos foram submetidos à oxidação através da adição de 1 ml de uma solução de ácido peracético a 2% em acetato de etila. Essa oxidação promove a oxidação do aldicarbe e de seu metabólito sulfóxido, a sulfona de aldicarbe, e, portanto, os resíduos porventura existentes nas amostras representam a soma do aldicarbe e desses metabólitos tóxicos. Tal oxidação é necessária porque o detector fotométrico de chama (com filtro para enxofre), utilizado na determinação do aldicarbe por cromatografia gasosa, é sensível apenas à forma sulfona de aldicarbe. Após um período de oxidação de 3 horas, a solução oxidante foi eliminada, também através de um fluxo de ar. Os resíduos foram então diluídos em 1 ml de acetona e alíquotas de 4 µl dessa solução foram injetadas no cromatógrafo.

Para análise de organofosforados utilizou-se uma coluna cromatográfica de vidro, com 1,8 m de comprimento e 2 mm de diâmetro interno, contendo OV-17 a 5% em chromosorb WHP-DCMS 100/120 mesh. No caso de aldicarbe foi utilizada uma coluna de vidro de dimensões iguais à anterior, contendo SP-1000 a 5% em supelcoport 100/120 mesh. As condições de operação do cromatógrafo foram as seguintes:

- a) Fluxos dos gases: 60, 120 e 140 ml/min., respectivamente para o gás de arraste (N₂) e gases da chama (H₂ e ar sintético);
- b) Temperatura da coluna: 220°C para organofosforados e 226°C para aldicarbe;
- c) Temperatura do detector: 230°C;

- d) Temperatura do vaporizador: 225°C;
- e) Compensador de corrente: 10^{-7} A;
- f) Atenuação: 10 x 518 k.

A quantificação dos resíduos porventura presentes nas amostras foi feita com padrões analíticos externos obtidos junto à Agência de Proteção Ambiental dos E.U.A., com pureza acima de 99%. Estudos anteriores feitos no laboratório indicaram um limite mínimo de detecção de aldicarbe da ordem de 0,1 µg/l (ppb). No caso de organofosforados, esse limite variou entre 0,1 e 10 µg/l para os vários compostos testados, entre eles forato, paration, metamidofós, vamidotiom.

De acordo com o Professor Dr. Renê Luís de Oliveira Rigitano, responsável pelas análises, as metodologias utilizadas foram baseadas naquelas descritas em Harvey Jr. (1980).

3.2.8 Amostragem e análise dos solos

A fim de caracterizar as sub-bacias hidrográficas quanto aos aspectos relacionados à fertilidade, textura, matéria orgânica e outros atributos do solo, coletaram-se amostras de solo das profundidades 0 a 20 e 20 a 40 cm, em cinco pontos de cada estrato das três sub-bacias hidrográficas. Estes pontos foram locados transversalmente ao curso d'água (topo/margem direita, vertente, fundo de vale, vertente e topo/margem esquerda), próximos às seções de coleta das amostras do deflúvio, ou seja, junto à nascente no estrato florestal e à seção de controle no estrato agrícola. As coletas foram feitas no período de estiagem, após a realização da colheita das culturas agrícolas, e enviadas para análise logo em seguida.

As análises de solo foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo do Departamento de Ciências do Solo da UFLA de acordo com os procedimentos sugeridos pela EMBRAPA (1979), sendo determinados o complexo sortivo, a granulometria, a argila dispersa em água e o teor de matéria orgânica.

3.3 Análises estatísticas

Com o objetivo de se relacionar os estratos florestal e agrícola das sub-bacias hidrográficas com os parâmetros físico-químicos de qualidade de água e também de avaliar os efeitos da ocupação agrícola sobre os parâmetros físico-químicos de qualidade de água do deflúvio, procedeu-se a uma análise de componentes principais, PCA, utilizando-se o programa CANOCO (ter Braak 1988). A PCA consiste basicamente em sintetizar a variação multidimensional dos dados analisados em um diagrama, ordenando-os nos eixos de acordo com suas similaridades em termos das variáveis utilizadas (Kent e Coker 1992). As amostras (no caso, sub-bacias e seus estratos) e as variáveis (no caso, parâmetros de qualidade de água) são transformadas em coordenadas (*scores*), que correspondem à sua projeção nos eixos de ordenação, ou autovetores (*eigenvectors*), representando o peso de cada parcela ou variável sobre o eixo, as quais podem ser vistas como equivalentes ao grau de correlação destes com o eixo em questão. O autovalor (*eigenvalue*) que é a soma ao quadrado dos scores de cada eixo representa o maior grau de correlação possível de todas as parcelas ou variáveis com o eixo e dá uma indicação direta da contribuição relativa de cada eixo para a explicação da variância total dos dados (ter Braak 1995).

Para execução da PCA produziram-se matrizes dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água em cada um dos dois estratos das três sub-bacias. Tais matrizes foram preparadas para três circunstâncias: período de chuvas, período de estiagem e médias dos dois períodos. A partir de cada uma dessas três matrizes, foram produzidos diagramas de ordenação dos parâmetros de qualidade de água e das amostras (estratos de cada sub-bacia). Nos diagramas, a distribuição dos estratos das sub-bacias hidrográficas são representados por pontos, que indicam sua correlação com os dois eixos, ao passo que os parâmetros de qualidade de água são representados por setas indicando a direção do gradiente máximo dos mesmos, sendo o comprimento da seta proporcional à correlação do parâmetro com os eixos e à sua importância na explicação da variância projetada em cada eixo.

Um ponto qualquer plotado no diagrama (representando uma determinada sub-bacia hidrográfica e seu respectivo estrato) pode ser relacionado a cada seta (representando um parâmetro físico-químico), através de uma perpendicular partindo da linha da seta até o referido

ponto. A ordem na qual os pontos projetam-se na seta da sua extremidade até a sua origem dá uma indicação dessa relação. Estratos/sub-bacias com sua projeção perpendicular próximas ou além da extremidade da seta são mais positivamente correlacionados e influenciados pelo parâmetro em questão. Aquelas na extremidade oposta são afetadas ou influenciadas em menor grau. Finalmente, a posição (ângulo de inclinação) de cada seta com relação a cada eixo indica quão estreitamente correlacionado está o parâmetro com esse eixo.

Foi empregado o teste de Wilcoxon (Zar 1996) para comparar os valores dos parâmetros físico-químicos quantificados nas amostras dos deflúvios entre os dois estratos. Os testes foram realizados para cada sub-bacia em cada período (chuvoso, de estiagem e anual) e para as três sub-bacias em conjunto no período anual. O teste também foi reproduzido para as três sub-bacias em conjunto comparando-se os períodos dentro do mesmo estrato.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características das sub-bacias hidrográficas

4.1.1 Características morfológicas

A Figura 3 apresenta os mapas planialtimétricos com a área total (compreendida entre os divisores de água e a foz do curso d'água) e parcial (compreendida entre os divisores de água definidos a partir do ponto no curso d'água onde foi estabelecida a seção de controle) de cada uma das três sub-bacias hidrográficas com as respectivas curvas de nível, cursos d'água e os pontos de coleta das amostras do deflúvio. Com estas informações, estabeleceu-se a hierarquia fluvial e procedeu-se à determinação dos outros parâmetros morfológicos utilizados no estudo morfométrico para caracterização das sub-bacias hidrográficas. Pelas regras estabelecidas pelos sistemas de ordenação dos cursos d'água propostos tanto por Horton (1945) como por Strahler (1952), citados por Christofolletti (1980), o conceito de ordem ou hierarquia é aplicável tanto para a rede de canais como para as bacias hidrográficas. Para Horton, canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários e, para Strahler, são aqueles que não possuem tributários desde a nascente até a confluência. Verifica-se portanto, através da Figura 3, que de acordo com esses sistemas de ordenação, todas as três sub-bacias hidrográficas e respectivos cursos d'água (canais) são classificados como de primeira ordem.

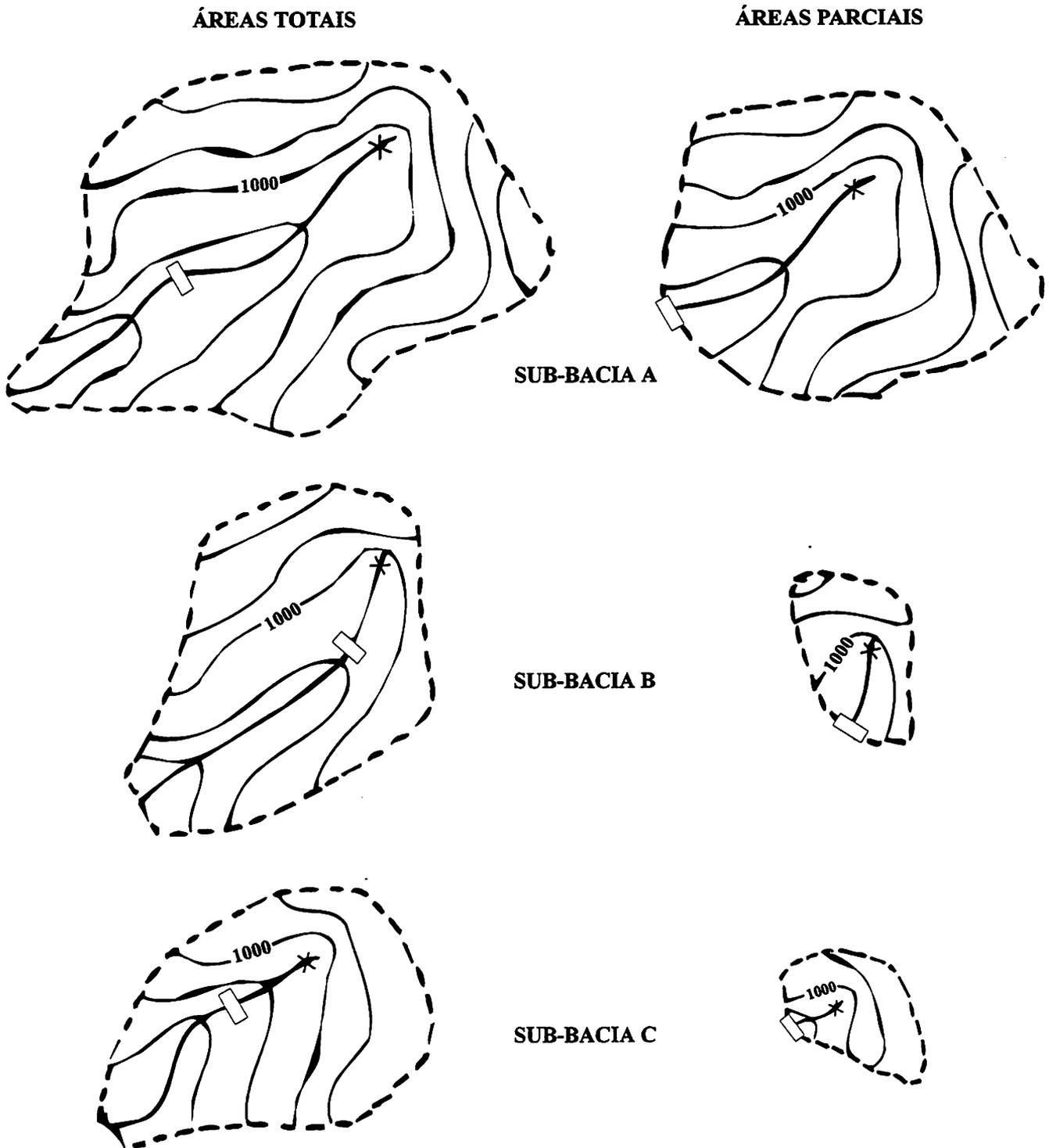


FIGURA 3 - Mapas planialtimétricos (escala 1:10.000) das sub-bacias A, B e C, com áreas totais e parciais (limitadas pelos divisores de água e pelo ponto de coleta d'água nas áreas agrícolas); curvas de nível (20 em 20 m); cursos d'água e pontos de coleta das amostras nos deflúvios (X, estrato florestal e □, estrato agrícola).

Na Tabela 1 são apresentados os valores referentes aos parâmetros morfológicos das sub-bacias A, B e C, obtidos a partir das áreas parciais (limitadas pela seção de controle, nas áreas agrícolas). A Figura 4 representa o perfil do relevo das sub-bacias em sua seção média.

TABELA 1 - Parâmetros morfológicos das sub-bacias hidrográficas.

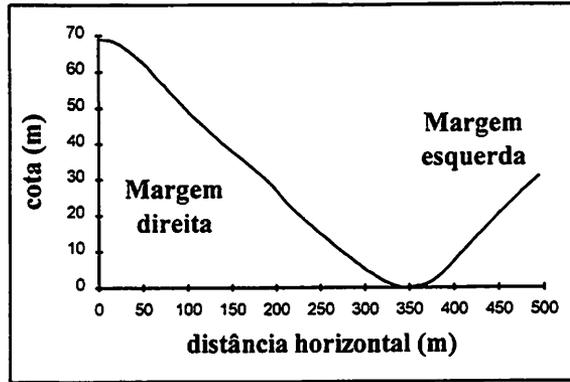
Sub-bacia	A	Kc	DD	DM	EM	CR	C	DMc
	(ha)		(km/km ²)	(%)	(m)	(m)	(m)	(%)
A	24,5	1,02	1,84	29,38	1015,2	350	450	5,58
B	4,74	1,07	3,48	27,42	1009,7	120	165	10,29
C	6,32	1,11	2,69	28,48	1010,9	280	170	13,50

NOTA: A = área; Kc = índice de compacidade; DD = densidade de drenagem; DM = declividade média; EM = elevação média; CR = comprimento de rampa; C = comprimento do curso d'água e DMc = declividade média do curso d'água.

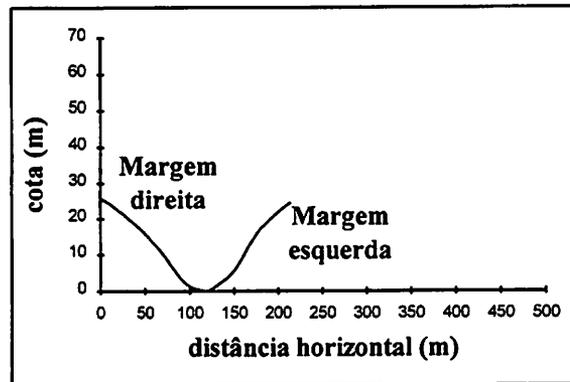
De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que as sub-bacias A (principalmente) e C apresentam, no que tange aos aspectos relacionados aos problemas de poluição hídrica, as piores condições morfológicas. Estas sub-bacias apresentam maior declividade média, maior comprimento de rampa (Figura 4), menor densidade de drenagem, menor índice de compacidade (somente a sub-bacia A) e curso d'água mais longo, estando portanto mais sujeitas às ações negativas das precipitações e das irrigações que, através da infiltração e/ou do escoamento superficial da água, podem transportar substâncias naturais e/ou artificiais nocivas, até os cursos d'água.

O maior comprimento, associado à menor declividade média do curso d'água da sub-bacia A, possibilita maior tempo de concentração, ou seja, maior tempo de permanência das substâncias que porventura alcancem o canal de drenagem, aumentando as possibilidades da detecção de tais substâncias.

Sub-bacia A



Sub-bacia B



Sub-bacia C

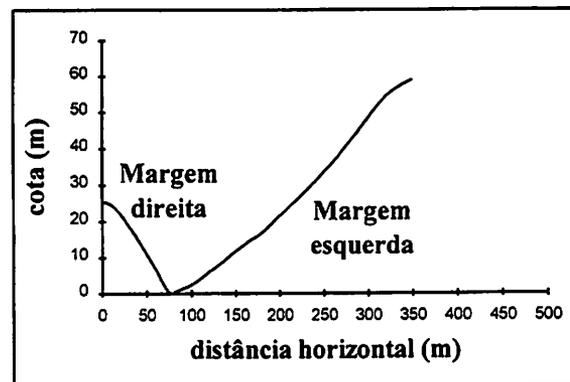


FIGURA 4 - Perfil do relevo das sub-bacias A, B e C, a partir de corte transversal na seção média das mesmas.

4.2 Precipitações pluviométricas

A Figura 5 representa graficamente as precipitações registradas nas três sub-bacias hidrográficas durante o período de coleta das amostras de água. Como não ocorreram chuvas durante o período de coleta da estiagem (17/06 a 20/07/95), somente está representado o período de coleta da estação chuvosa (13/01 a 03/02/95).

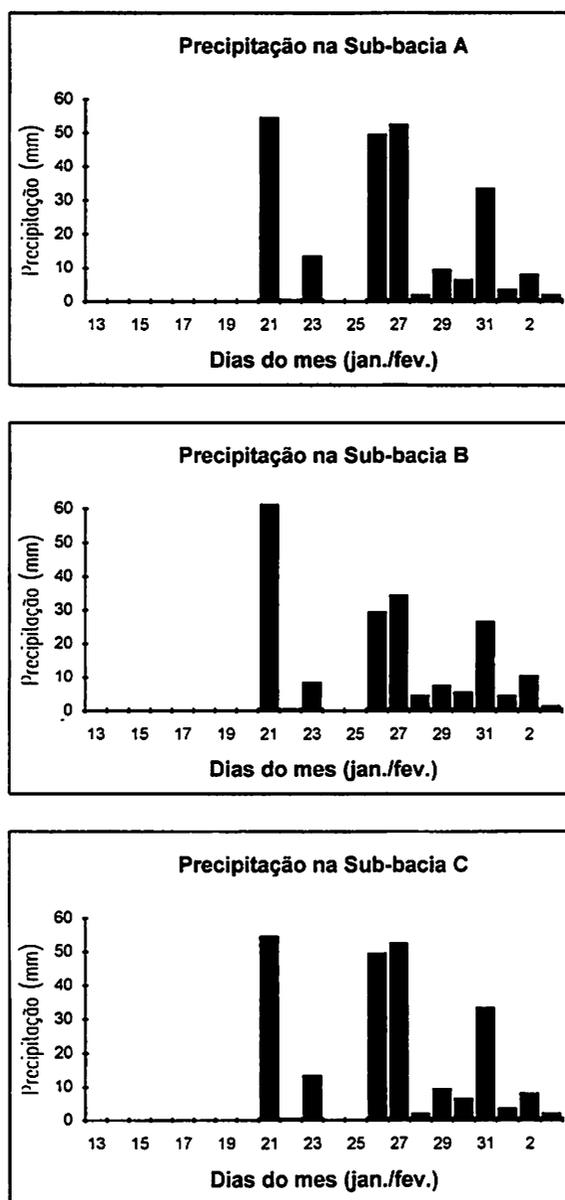


FIGURA 5 - Distribuição da precipitação ocorrida nas sub-bacias A, B e C, durante o período de coleta, na estação chuvosa (verão).

4.3 Lâmina d'água aplicada nas irrigações e seus efeitos sobre o solo

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados das variáveis de solo obtidas nas áreas de cultura irrigada da batata nas sub-bacias A e B, as quais foram utilizadas para os cálculos das lâminas d'água aplicada. Já a Figura 6 representa graficamente os valores de lâmina d'água aplicada ao longo do período de coleta da estiagem. De acordo com estes resultados, verifica-se que, tanto na sub-bacia A quanto na sub-bacia B, não houve aplicação de lâminas d'água excessivas, as quais poderiam provocar a lixiviação de determinados fertilizantes e pesticidas até os lençóis freáticos e destes até os cursos d'água. Por outro lado, a irrigação pode atuar como um dos fatores condicionantes do processo erosivo do solo, promovendo assim o arraste de tais substâncias, através do escoamento superficial, até os cursos d'água. Foi observado no campo que havia vazamentos nos sistemas de irrigação com considerável vazão, os quais formavam focos de intenso escoamento superficial e conseqüente erosão. Deve-se salientar também que chuvas de 40 a 50 mm, como as que foram registradas na estação chuvosa, podem resultar em lixiviação.

TABELA 2 - Umidades gravimétrica (u) e volumétrica (θ) e densidade aparente (Da) dos solos das áreas irrigadas das sub-bacias hidrográficas A e B.

Sub-bacia A				Sub-bacia B			
amostras	u	Da	θ	amostras	u	Da	θ
	(g/g)	(g/cm ³)	(cm ³ /cm ³)		(g/g)	(g/cm ³)	(cm ³ /cm ³)
1	0,3674	0,9852	0,3619	1	0,3433	0,9260	0,3179
2	0,3988	0,9369	0,3737	2	0,3270	1,1508	0,3950
3	0,4738	0,9615	0,4556	3	0,4526	0,9387	0,4248
4	0,4484	0,9885	0,4432	4	0,3939	1,0793	0,4251

NOTA: As amostras 1 e 2 foram retiradas antes e as amostras 3 e 4 depois de uma aplicação de irrigação (aspersão). As amostras 1 e 3 foram retiradas a uma profundidade de 0 a 20 cm e as amostras 2 e 4 de 20 a 40 cm.

TABELA 3 - Umidades do solo, lâminas de água requerida e aplicada nas irrigações realizadas nas sub-bacias A e B.

sub-bacia	θ a.i. (cm^3/cm^3)	θ c.c. (cm^3/cm^3)	lr (mm)	lm (mm)	$E \cap D$ (mm)
A (0 a 20 cm)	0,3619	0,4077	9,15	12,8	+ 3,65
B (0 a 20 cm)	0,3179	0,4036	17,22	14,03	- 3,19
A (20 a 40 cm)	0,3737	0,4602	17,31	3,65	- 13,66
B (20 a 40 cm)	0,3763	0,5016	25,06	0	- 28,25

NOTA: θ a.i. = umidade volumétrica antes da irrigação, θ c.c. = umidade volumétrica na capacidade de campo, lr = lâmina requerida ($lr = 10 \text{ mm/cm} \times (\theta \text{ c.c.} - \theta \text{ a.i.}) \times 20 \text{ cm}$), lm = lâmina média d'água aplicada em uma irrigação, $E \cap D$ = excesso ou déficit na camada de solo após a irrigação ($E \cap D = lm - lr$).

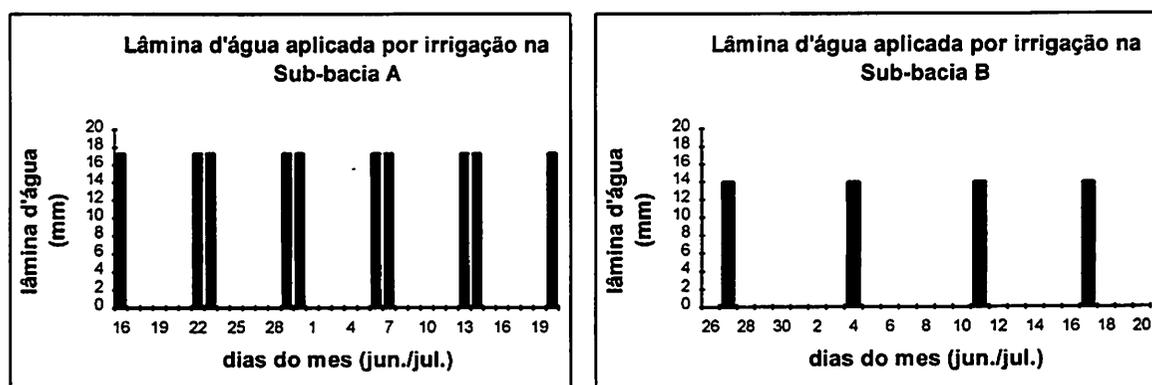


FIGURA 6 - Distribuição das lâminas d'água aplicadas através de irrigação por aspersão nas áreas agrícolas das sub-bacias A e B, durante o período de coleta das amostras do deflúvio.

4.4 Caracterização da paisagem

A Figura 7 mostra a organização da paisagem das sub-bacias A, B e C em termos de cobertura vegetal, tanto florestal (mata nativa secundária) como agrícola (culturas e pastagens), nos dois períodos de estudo (chuva e estiagem).

4.4.1 Cobertura florestal

Na sub-bacia A, a vegetação florestal ocorre na cabeceira, no topo das margens direita e esquerda e no fundo do vale, às margens do curso d'água, da bacia. A cobertura florestal da cabeceira dessa sub-bacia é tipicamente secundária, com predominância de espécies pioneiras, como o sangra-d'água (*Croton urucurana*), na sua porção central e margem direita, e embaúba (*Cecropia pachystachya* e *Cecropia glazioui*), na sua margem esquerda. As áreas de topo são revestidas de floresta semidecídua montana, sendo esta apenas uma faixa estreita na margem direita e um fragmento maior na margem esquerda. Já no fundo do vale, o curso d'água é parcialmente flanqueado por uma mata ciliar bem degradada.

Na sub-bacia B a vegetação florestal ocorre na cabeceira, topo da margem direita e fundo do vale. As áreas de cabeceira e topo são cobertas por um fragmento de mata semidecídua montana e, no fundo do vale, encontra-se uma mata ciliar degradada.

Na sub-bacia C a vegetação florestal ocorre principalmente na cabeceira da bacia, a montante da nascente do curso d'água, e no fundo do vale. No topo das margens direita e esquerda ocorre apenas uma fileira estreita de árvores. Já na cabeceira encontra-se um fragmento degradado de mata semidecídua montana e, no fundo do vale, uma mata ciliar degradada.

Visualiza-se, através da Figura 7, que a sub-bacia B, comparada com as demais, apresenta maior área de mata de topo e encosta adjacente à agrícola. Portanto, pode-se inferir desse fato que ela é a sub-bacia que proporciona maior proteção ao solo e ao curso d'água, principalmente quanto aos efeitos negativos das precipitações.

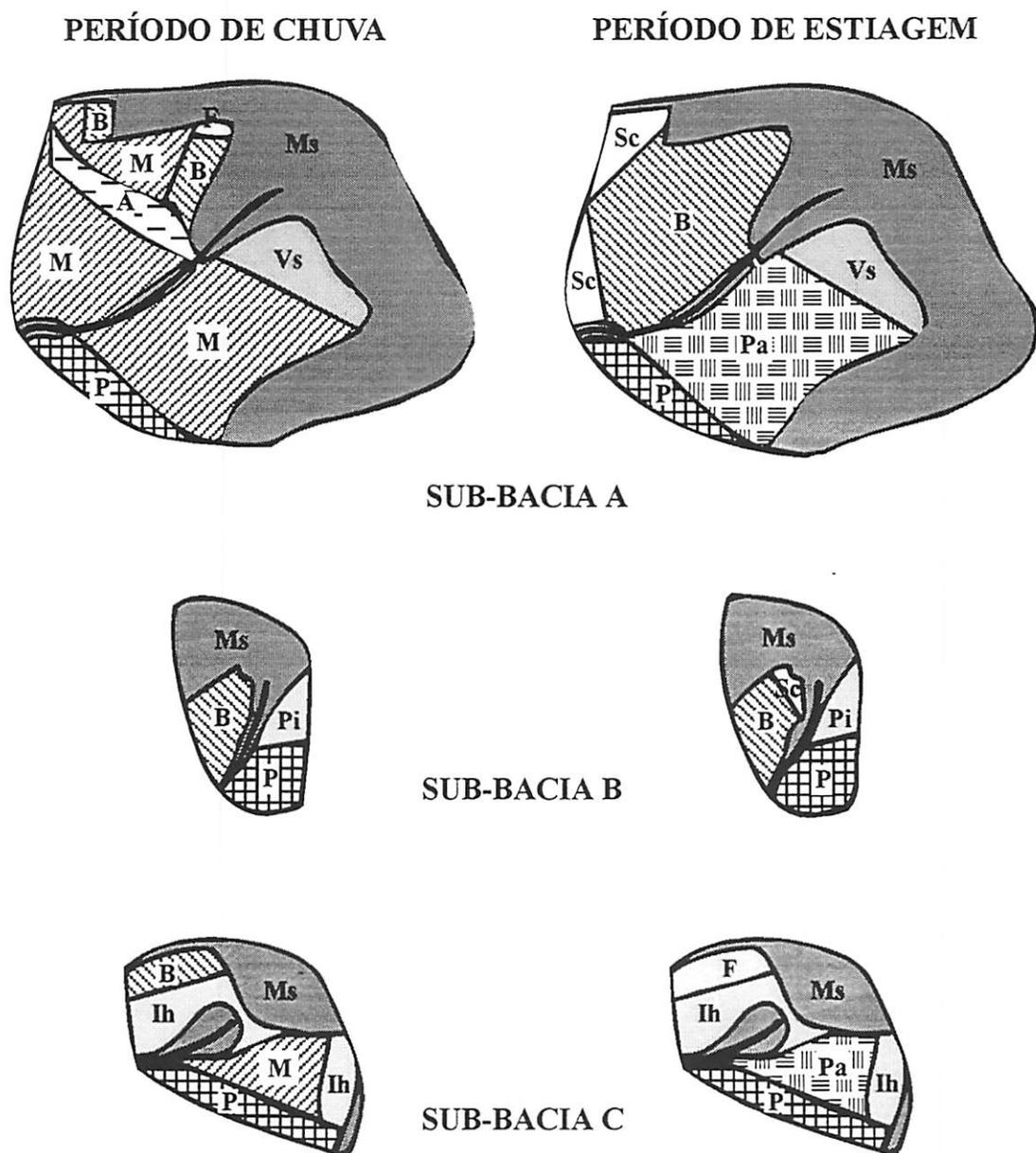


FIGURA 7 - Mapas (escala 1:10.000) de distribuição da cobertura vegetal (mata nativa, culturas agrícolas e pastagens) nas sub-bacias A, B e C, nos períodos de chuva e de estiagem . Ms = mata secundária; Vs = vegetação secundária; Ih = invasoras herbáceas; A = arroz; B = batata; F = feijão; M = milho; P = pastagem; Pi = pastagem infestada com invasoras herbáceas; Pa = palhada; Sc = sem cultivo.

4.4.2 Agropecuária

Visualiza-se, através dos mapas da Figura 7, que ocorreram atividades agropecuárias em todas as três sub-bacias hidrográficas, tanto no período de chuva quanto no período de estiagem. Percebe-se também que no período chuvoso a área cultivada e número de culturas agrícolas exploradas foi maior em todas as três sub-bacias, quando comparados com os verificados no período de estiagem (vide também Tabelas 4, 5 e 6). Deve-se ainda destacar que somente ocorreram cultivos irrigados nas sub-bacias A e B. No período chuvoso todas as culturas agrícolas exploradas nas três sub-bacias, foram supridas apenas com precipitação natural.

A sub-bacia A foi a que apresentou a maior área cultivada e, portanto, a maior exposição do solo, tanto no período chuvoso quanto no período de estiagem. Também foi a que apresentou o maior número de culturas agrícolas exploradas no período chuvoso. A área cultivada com a cultura de batata nesta sub-bacia foi maior no período de estiagem do que no período chuvoso.

Na margem esquerda da sub-bacia B, encontra-se implantada uma pastagem a qual foi utilizada para bovinocultura nos períodos de chuva e de estiagem. Já próximo à cabeceira, há uma pastagem de capim braquiária infestada com alecrim. Na sub-bacia C, ocorreu também pastoreio de gado bovino na margem esquerda no período de estiagem, onde havia restos de cultura de milho. Os cultivos conduzidos durante a estiagem (plantio de feijão da seca) adentrou apenas alguns dias no período de coleta das amostras do deflúvio.

4.4.3 Sistemas de produção agrícola adotados

As Tabelas 4, 5 e 6 apresentam a área cultivada e alguns dados relativos aos sistemas de produção adotados pelos produtores rurais para o estabelecimento das culturas agrícolas exploradas nas sub-bacias A, B e C, nos períodos de chuva e de estiagem. Verifica-se que, de uma maneira geral, as maiores quantidades, concentrações e número de insumos agrícolas (fertilizantes e pesticidas) foram empregados na sub-bacia A. Este fato, associado à maior área de exposição do solo à ação da chuva e irrigação e à maior movimentação de terra (necessária ao cultivo da batata) sugere que a sub-bacia A apresenta maiores problemas de poluição hídrica.

TABELA 4 - Sistemas de produção agrícola adotados na sub-bacia A.

período	cultura	área (ha)	preparo do solo	práticas de conservação	adubação (kg/ha)	tratos culturais	pesticidas (kg - l/ha)
c h u v o s o	arroz	2	enxada rotativa	plantio em nível	Ø	capina manual	Molinate + Propanil (6 l)
	b		1	sulcamento	plantio	amontoa, e	
	a		aração	em nível	(4-14-8)	pulverizações	Metribuzin (0,9 l)
	t		1	(t.animal)	2500	com	Mancozeb (2,4 kg)
	a	2	enxada	plantio	cobertura	herbicida,	Chlorothalonil (1,2 kg)
	t		rotativa	manual	(20-0-20)	fungicidas e	Methamidophós (0,6 l)
	a		(morro abaixo)	em nível	500	inseticidas	
o	feijão	0,3	aração + rotativa	plantio man. em nível	450	capinas	Ø
	milho m. esq.	5	aração ar.+ rot.	plantio man. em nível	150	amontoa	Atrazine + Simazine (6 l)
		5			100	Ø	
e s t i a g e m	b a t a a t a	9	1	sulcamento	plantio	amontoa,	Metribuzin (0,9 l)
			aração	em nível	(4-14-8)	irrigações,	Mancozeb (2,4 kg)
			e	(t.animal),		e	Chlorothalonil (1,2 kg)
			2	plantio	2100	pulverizações	Methamidophós (0,6l)
			enxada	manual	cobertura	com	Aldicarb (13,3 kg)
			rotativa	em	(20-0-20)	herbicidas,	Metaloxyl + Mancozeb (1,8 kg)
			(morro abaixo)	nível	400	fungicidas, e inseticidas	Cymoxanil + Maneb + Sulf. zinco(1,5 kg)

NOTA: Ø = inexistente. O plantio de batata das águas ocorreu entre 23/10 e 25/10/94; o herbicida Metribuzin foi aplicado 15 dias depois; houve 8 pulverizações com Mancozeb e chlorothalonil, duas delas com Methamidophos, durante o ciclo da cultura. O plantio da batata da seca ocorreu entre 09/05 e 14/05/95; o herbicida Metribuzin foi aplicado 15 dias depois; a adubação de cobertura, aplicação do aldicarbe e amontoa, foram realizadas em 20/06/95; ocorreram 13 pulverizações com pesticidas durante o ciclo da cultura. As pulverizações realizadas durante o período de estudos foram sete. Em 20/06: Mancozeb, cymoxanil + maneb + sulfato de zinco, methamidophos; em 23/06: mancozeb e chlorothalonil; em 29/06: Mancozeb, cymoxamil + maneb + sulfato de zinco e methamidophos; em 03/07: Mancozeb; em 08/07: Mancozeb e chlorothalonil; em 14/07: Mancozeb e chlorothalonil; e em 19/07: Metalaxyl + mancozeb. Nas demais culturas não ocorreram adubações nem pulverizações com pesticidas durante o período de coleta das amostras do deflúvio.

TABELA 5 - Sistemas de produção agrícola adotados na sub-bacia B.

período	cultura	área (ha)	preparo do solo	práticas de conservação	adubação (kg/ha)	tratos culturais	pesticidas (kg - l/ha)
c h u v o s o	b a t a t a	2,0	1	sulcamento	plantio (4-14-8) 2500	amontoa, e	Metribuzin (0,9 l)
			aração	em nível		pulverizações	Mancozeb (2,0 kg)
			1	(t.animal)			com
			enxada	plantio		herbicida,	Tebuconazole (1,0 kg)
			rotativa	manual		fungicidas	Forate (50 kg)
			(morro	em		e	Paraquat (1,0 l)
			abaixo)	nível		inseticidas	Methamidophos (0,3 l)
e s t i a g e m	b a t a t a	1,68	1	sulcamento	plantio (4-14-8)	irrigações,	
			aração	em nível		amontoa,	Metribuzin (1,0 l)
			e	(t.animal)	e	Mancozeb (2,0 kg)	
			2	e	2100	pulverizações	Chlorothalonil (1,0 kg)
			enxada	plantio	cobertura	com	Metalaxil+ mancozeb (1kg)
			rotativa	manual	(20-0-20)	herbicida	Aldicarb (11,9 kg)
(morro	em		fungicidas	Forate (25 kg)			
abaixo)	nível	400	e inseticidas				

NOTA: O plantio da batata das águas foi realizado de 15 a 20/11/94; o inseticida Forate foi aplicado no plantio; ocorreram 7 pulverizações durante o ciclo da cultura (Mancozeb e Chlorothalonil em todas as pulverizações, Tebuconazole em 2 e Methamidophos em uma pulverização); além da aplicação do Paraquat em 10/02/95. O plantio da batata da seca foi de 05 a 10/06/95; o Forate foi aplicado no plantio; durante o período de coleta das amostras do deflúvio foram realizadas 4 pulverizações, uma com Metribuzin, aplicado em 30/06/95; 2 com Mancozeb e Chlorothalonil e uma com Metalaxil + mancozeb; o Aldicarb aplicado em 20/07/95, juntamente com a adubação de cobertura.

TABELA 6 - Sistemas de produção agrícola adotados na sub-bacia C.

período	cultura	área (ha)	preparo do solo	práticas de conservação	adubação (kg/ha)	tratos culturais	pesticidas (kg - l/ha)
c h u v o s o	b	2	1	sulcamento	plantio	amontoa, e	
	a		aração	em nível	(4-14-8)	pulverizações	Metribuzin (0,9 kg)
	t		e 1	(t.animal)		com	Mancozeb (2,4 kg)
	a		enxada	plantio	herbicida,	Chlorothalonil (1,2 kg)	
	t		rotativa	manual	fungicidas e	Cartap (0,72 kg)	
	a		(morro abaixo)	em nível	inseticidas	Tebuconazole (1,0 kg)	
	milho	5	aração+rotativa	sul./ plantio em nível	(4-14-8) 100	capina manual	∅
de estiagem	feijão	2	aração+rotativa	sul./ plantio em nível	∅	capina manual	∅

NOTA: ∅ = inexistente. O plantio da batata foi realizado de 7 a 8/10/94; o plantio do milho foi realizado de 29/11 a 1/12/ 94 e o plantio do feijão da seca de 27 a 28/03/95.

4.5 Caracterização dos Solos

As Figuras 8 a 11 representam graficamente os parâmetros de solo obtidos nas análises das amostras coletadas nos estratos florestal e agrícola das sub-bacias A, B e C. São representados apenas aqueles mais diretamente relacionados com os resultados das análises físico-químicas nos deflúvios. Os demais parâmetros encontram-se no apêndice.

Observando-se os resultados para os teores de cálcio na toposequência das sub-bacias A, B e C (Figura 8), verifica-se a uma maior concentração no fundo de vale, tanto para o estrato florestal quanto para o agrícola e em ambas as margens. Esta situação sugere o aporte deste elemento para o fundo de vale, tendendo a atingir o corpo do curso d'água. De uma maneira geral, as concentrações mais elevadas encontram-se no fundo do vale da área agrícola da sub-bacia A e no fundo do vale das áreas de mata das sub-bacias A e C. No primeiro caso, isto pode estar associado à utilização de calcário em cultivos agrícolas passados. A alta concentração de cálcio na margem esquerda do estrato florestal da sub-bacia A decorre, provavelmente, da utilização agrícola dessa área (atualmente sob vegetação florestal pioneira) em passado recente.

O magnésio (Figura 9) mostrou, de uma maneira geral, um comportamento muito semelhante ao cálcio.

Os teores mais elevados de fósforo, registrados na vertente da margem esquerda do estrato florestal da sub-bacia A (Figura 10), indicam a existência de fósforo residual no local e, assim como o cálcio e o magnésio, revelam a ocorrência de atividades agrícolas naquela área anteriores à regeneração florestal. Ainda nesta sub-bacia, verifica-se, na área sob agricultura, significativo aporte de fósforo nos fundos de vale, possivelmente em decorrência de processos erosivos, já que este elemento é virtualmente imóvel no solo. Tanto na área agrícola quanto na florestal da sub-bacia B, observa-se uma distribuição relativamente homogênea dos teores de fósforo na toposequência, em quantidades próximas às concentrações deste elemento nos solos sob florestas.

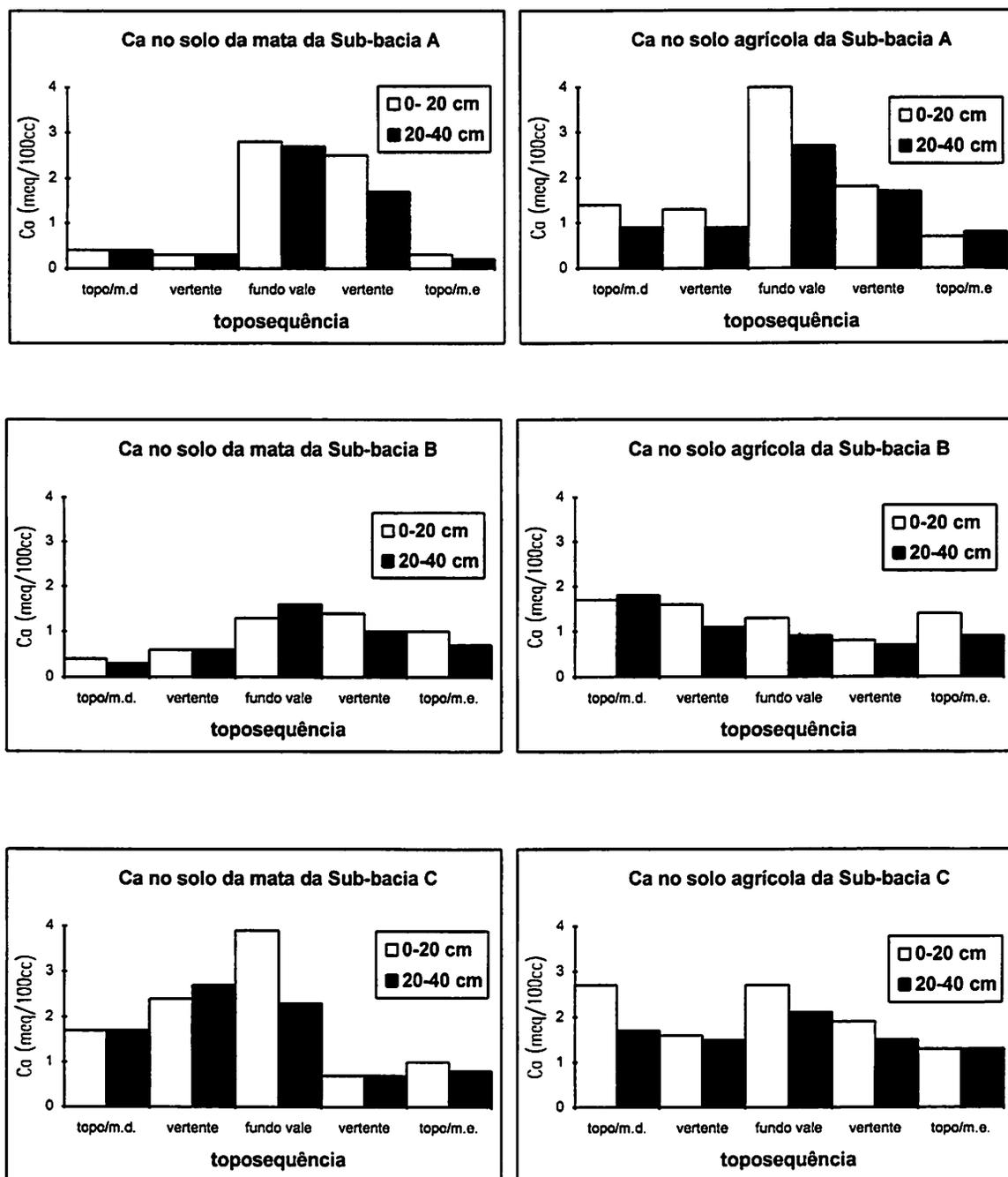


FIGURA 8 - Concentração de cálcio nos solos, nos pontos amostrados (topo da margem direita, vertente da margem direita, fundo do vale, vertente da margem esquerda e topo da margem esquerda) dos estratos florestal e agrícola, das sub-bacias A, B e C.

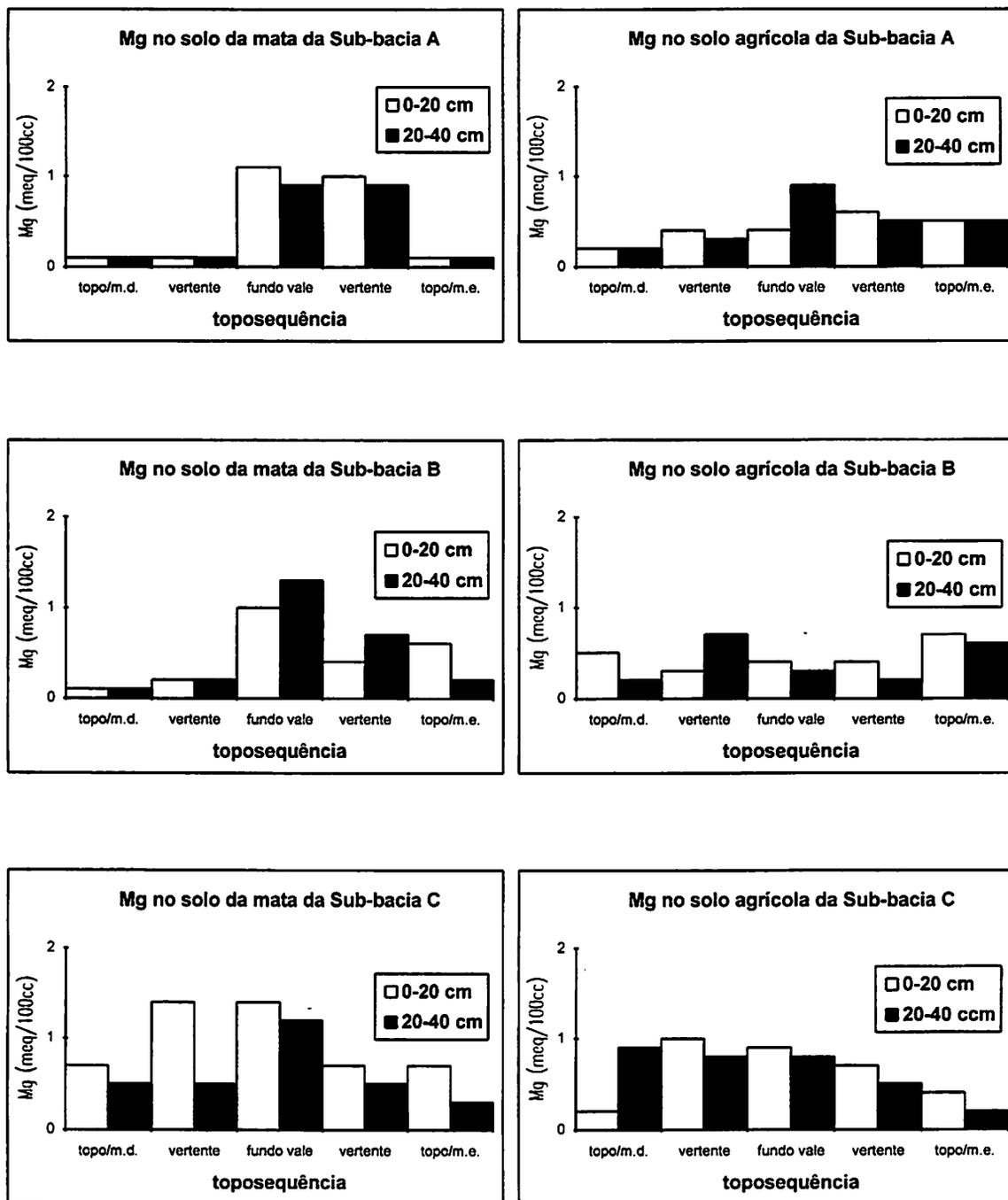


FIGURA 9 - Concentração de magnésio nos solos, nos pontos amostrados (topo da margem direita, vertente da margem direita, fundo do vale, vertente da margem esquerda e topo da margem esquerda) dos estratos florestal e agrícola, das sub-bacias A, B e C.

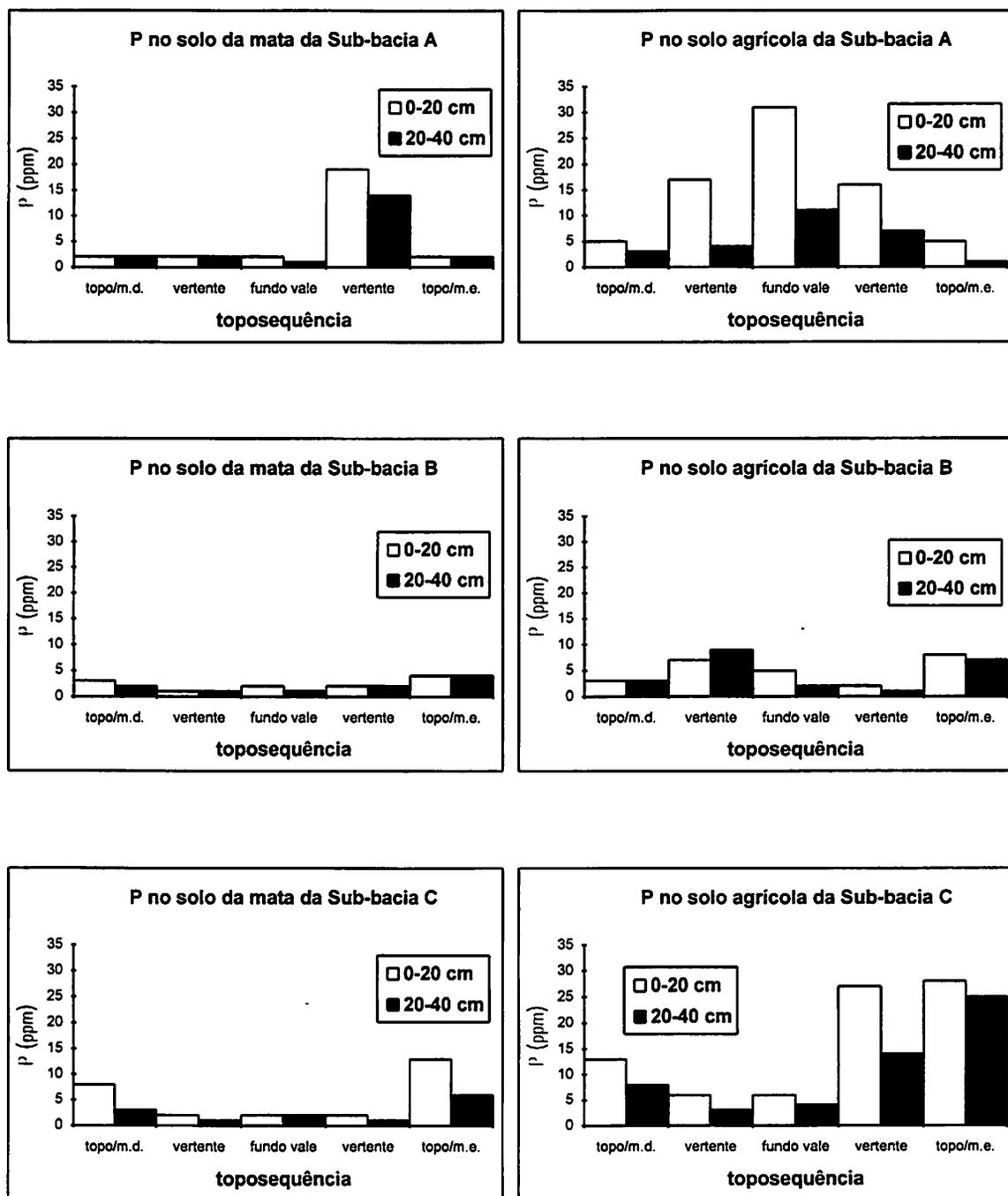


FIGURA 10 - Concentração de fósforo nos solos, nos pontos amostrados (topo da margem direita, vertente da margem direita, fundo do vale, vertentes das margens esquerda e topo da margem esquerda) dos estratos florestal e agrícola, das sub-bacias A, B e C.

As maiores concentrações de fósforo na sub-bacia B ocorrem na vertente da margem direita e topo da margem esquerda da área agrícola, onde foram exploradas e implantadas, respectivamente, as culturas de batata e de gramíneas para pastagem. Já na sub-bacia C, verificam-se baixos teores de fósforo na área sob floresta, com distribuição relativamente homogênea nas encostas e fundos de vale e teores mais elevados nos topos de ambas as margens. Esta variação do teor de fósforo na toposequência confirma a natureza itinerante do cultivo da batata, onde este elemento é mais intensamente utilizado. Na área sob agricultura da sub-bacia C verificam-se altos teores de fósforo nos topos e vertentes das margens direita e esquerda, onde ocorreram cultivos recentes de batata, milho e feijão.

O percentual de argila dispersa em água dá uma indicação da susceptibilidade do solo à primeira fase do processo erosivo, que é a desagregação das partículas. O grau de floculação do solo, definido pela fórmula: $\text{Grau de Floculação} = 100 \times (\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}) / \text{argila total}$, revela a relação direta existente entre o teor de argila dispersa em água e a argila total do solo, podendo ser um dos indicadores do potencial de floculação da fração argila e também da susceptibilidade à erodibilidade hídrica do solo. Assim, quanto maior o percentual de argila dispersa em água de um dado solo, menor é o seu grau de floculação e vice-versa.

Verificando-se a Figura 11, nota-se percentuais mais elevados de argila dispersa em água nas sub-bacias B e C, sugerindo que estas mesmas apresentam, levando-se em conta o fator dispersão de argila, maior susceptibilidade à primeira fase do processo erosivo.

A sub-bacia A apresentou menores percentuais de argila dispersa em água no atual estrato agrícola (área cultivada). Tal fato pode ser decorrente da floculação das partículas do solo por cátions adicionados através das sucessivas fertilizações químicas. Observou-se nessa sub-bacia que a margem esquerda, tanto da área atualmente sob cultivo quanto na área sob vegetação secundária, apresentou maiores percentuais de argila dispersa em água, principalmente nas vertentes, sugerindo que essa margem da sub-bacia apresenta maior susceptibilidade aos processos erosivos do solo, como pode ser constatado em observações de campo.

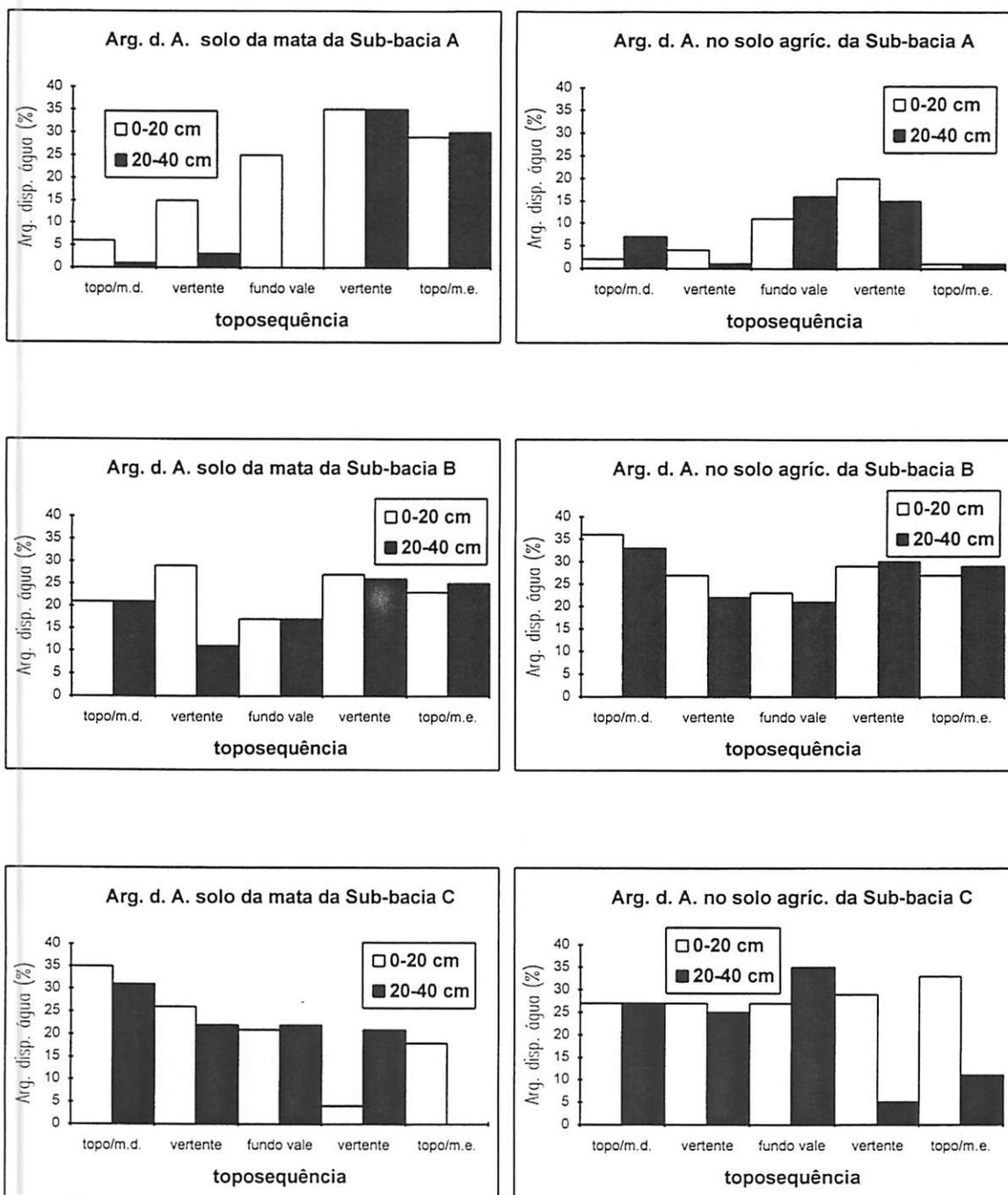


FIGURA 11 - Teor de argila dispersa em água nos solos, nos pontos amostrados (topo da margem direita, vertente da margem direita, fundo do vale, vertente da margem esquerda e topo da margem esquerda) dos estratos florestal e agrícola, das sub-bacias A, B e C.

4.6 Caracterização dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água dos deflúvios

A Tabela 7 apresenta os valores anuais (média dos períodos de chuva e estiagem) dos parâmetros físico-químicos extraídos dos resultados das análises das amostras de água de deflúvio das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal e agrícola.

TABELA 7 - Valores anuais máximos, mínimos, médios e desvios padrão (S) dos parâmetros físico-químicos determinados nas amostras do deflúvio das sub-bacias A, B e C, coletadas nos estratos florestal e agrícola, nos períodos de chuva e de estiagem.

Sítio	Estrato	Valor	Cd (mg/l)	Ca (mg/l)	C.E. ₂₅ (μ S/cm)	Mg (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	P (mg/l)	pH	S.t.s. (mg/l)	Turb. (uT)	
B a c i a	florestal	médio	0,005	1,418	21,6	0,86	0,002	0,082	0,021	6,89	2,37	1,90	
		mínimo	0,005	0,15	17	0,11	0,002	0,02	0,02	6,3	2	1,3	
		máximo	0,005	5	34	1,8	0,002	0,3	0,038	7,5	5,2	6,5	
		S	0	1,52	3,25	0,63	0	0,06	0,005	0,22	0,99	1,13	
	A	agrícola	médio	0,005	1,792	31,31	0,96	0,003	0,101	0,092	6,9	104,37	79,5
			mínimo	0,005	0,11	23	0,3	0,002	0,02	0,02	6,6	3,6	1,5
			máximo	0,005	4	51	2	0,012	0,41	0,48	7,1	536	510
			S	0	1,20	7,02	0,62	0,002	0,10	0,15	0,137	155,38	128,50
B a c i a	florestal	médio	0,005	1,385	18,58	0,81	0,002	0,081	0,0205	6,55	3,34	2,44	
		mínimo	0,005	0,23	11	0,1	0,002	0,02	0,02	5,9	2	0,85	
		máximo	0,005	6	32	2	0,002	0,35	0,029	7	11,2	14	
		S	0	1,57	6,19	0,66	0	0,08	0,0021	0,45	2,65	3,02	
	B	agrícola	médio	0,005	1,938	35,41	0,94	0,002	0,119	0,0207	6,87	32,2	13,52
			mínimo	0,005	1	25	0,3	0,002	0,02	0,02	6,7	2,4	6,8
			máximo	0,005	4,92	52	2	0,002	0,43	0,032	7,1	326	23
			S	0	1,09	9,35	0,62	0	0,10	0,0029	0,12	84,67	4,28
B a c i a	florestal	médio	0,005	2,794	38,56	1,05	0,002	0,114	0,021	7,2	2,4	2,74	
		mínimo	0,005	0,9	35	0,1	0,002	0,02	0,02	7	2	1,5	
		máximo	0,005	8	41	2,3	0,002	0,36	0,041	7,4	6,8	6	
		S	0	2,42	2,09	0,80	0	0,09	0,005	0,12	1,32	1,34	
	C	agrícola	médio	0,005	2,903	65,62	1,1	0,009	0,091	0,053	6,99	118,55	27,37
			mínimo	0,005	1,3	54	0,3	0,002	0,02	0,02	6,8	6,8	11
			máximo	0,005	7	79	2,2	0,079	0,33	0,47	7,2	1113	120
			S	0	1,81	7,10	0,74	0,019	0,08	0,11	0,09	303,95	26,77

As Figuras 12, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 e 29, representam graficamente os resultados dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água determinados nas amostras coletadas no deflúvio das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal e agrícola, nos períodos de chuva e de estiagem. Já as Figuras 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 e 30, representam graficamente os valores médios dos parâmetros físico-químicos quantificados nas amostras dos deflúvios das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal e agrícola, e indicam os resultados das comparações pelo teste de Wilcoxon.

As representações gráficas das concentrações de cádmio nas amostras de água são visualizadas na Figura 12. Verifica-se que este elemento não apresentou variação nas amostras dos deflúvios das sub-bacias, mantendo-se em 0,005 mg/l em todas as determinações, tanto no estrato florestal quanto no agrícola, e isto mostra que as atividades agrícolas desenvolvidas nessas sub-bacias não provocaram alterações nas concentrações de cádmio na água drenada pelos cursos d'água. Os resultados encontrados estão dentro do limite máximo permitido, definido pela portaria nº 36, de 19/01/90, do Ministério da Saúde, que é de 0,005 mg/l.

As Figuras 13 e 15, mostram, respectivamente, as variações das concentrações de cálcio e de magnésio nas amostras do deflúvio das sub-bacias, nos estratos florestal e agrícola, nos períodos de chuva e de estiagem. Observando-se as representações gráficas das concentrações médias de cálcio no deflúvio das sub-bacias estudadas (Figura 14), verifica-se que houve diferença significativa entre os estratos florestal e agrícola das sub-bacias B e C, no período chuvoso (gráfico A); entre os períodos de chuva e de estiagem dentro de cada estrato (florestal ou agrícola) das três sub-bacias conjuntamente (gráfico C); e entre os estratos florestal e agrícola, considerando todas as sub-bacias e os dois períodos (de chuva e de estiagem) conjuntamente (gráfico E).

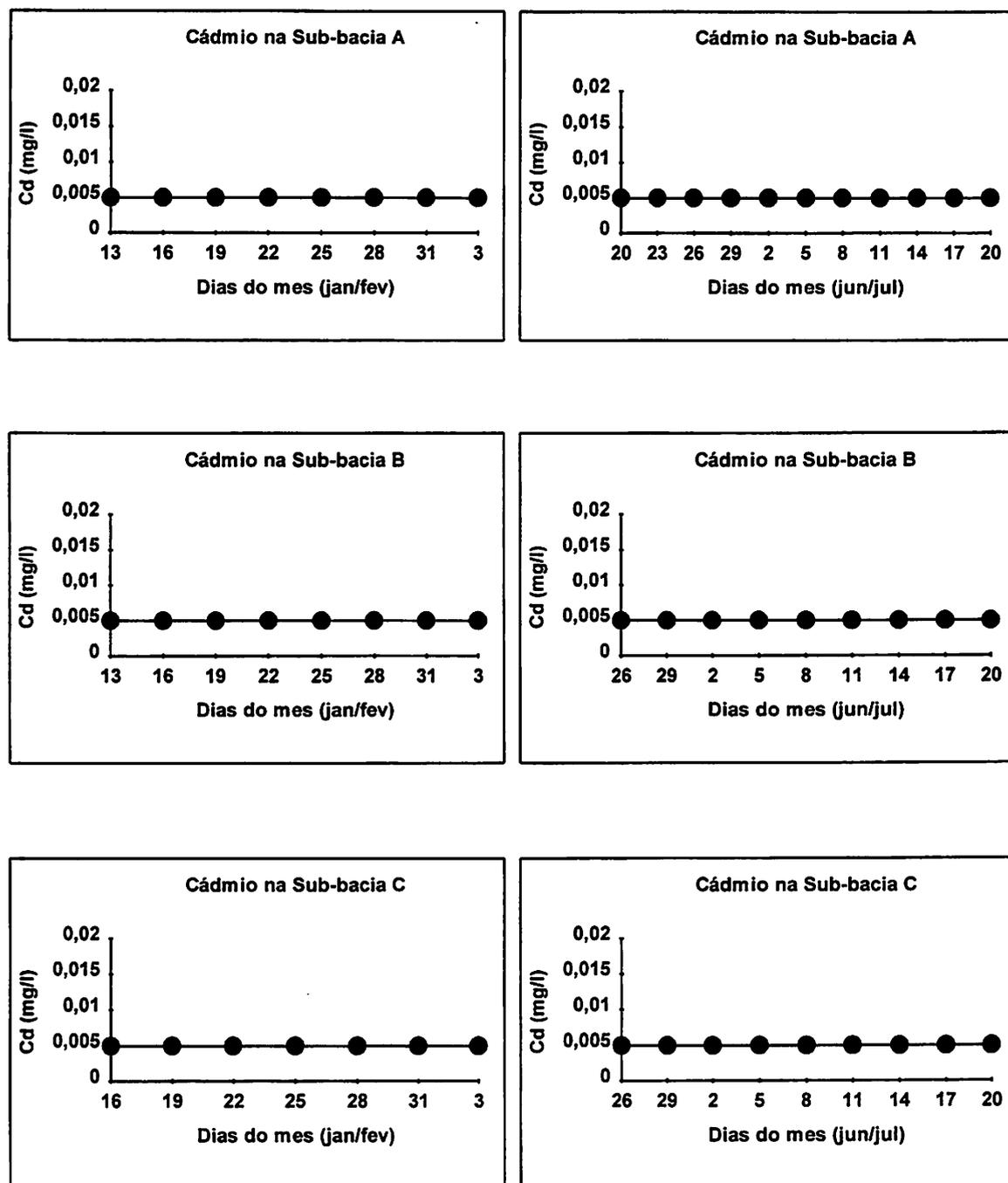


FIGURA 12 - Concentração de cádmio nas amostras de água coletadas nos cursos d'água das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).

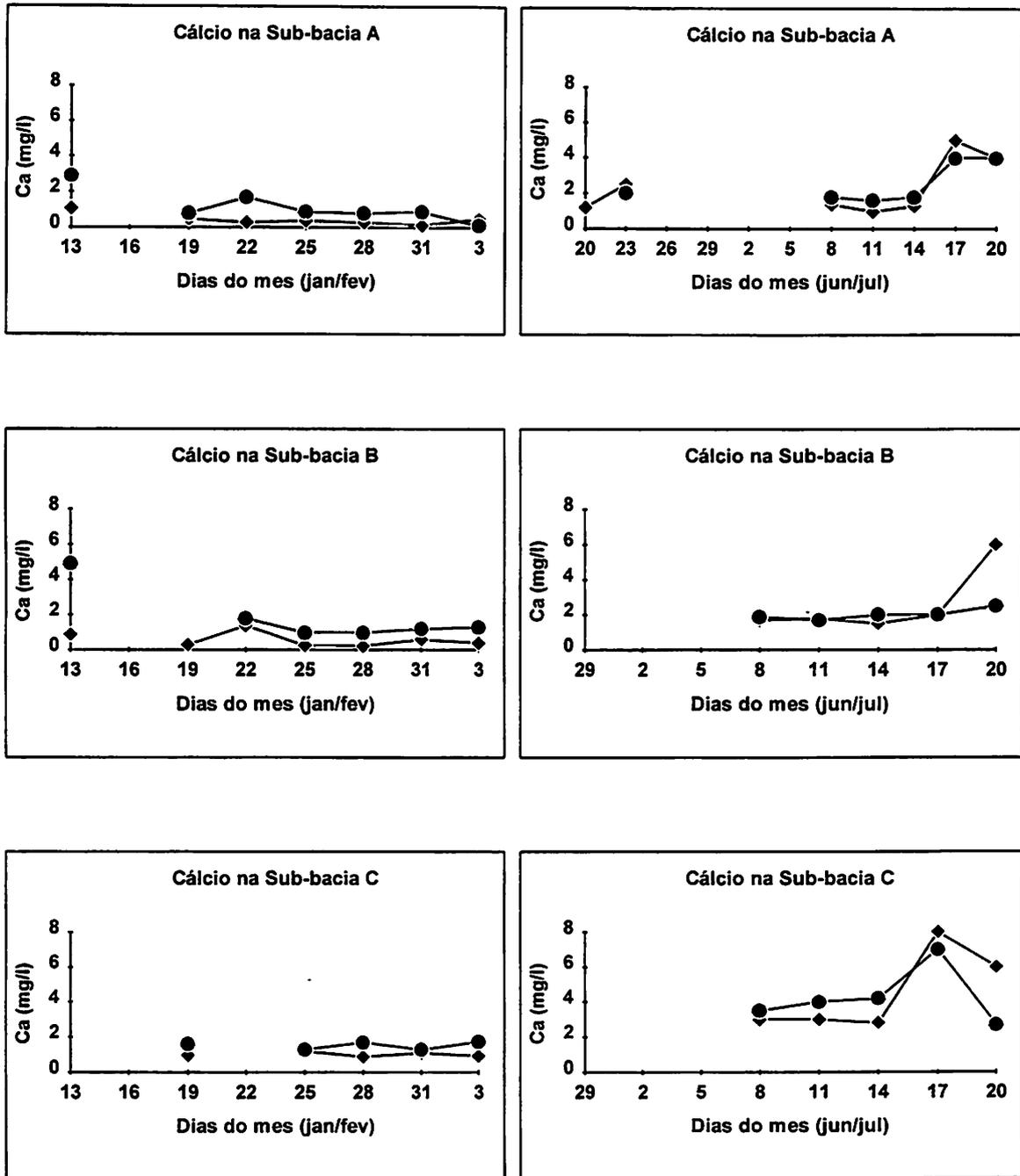


FIGURA 13 - Concentração de cálcio nas amostras de água coletadas nos cursos d'água das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).

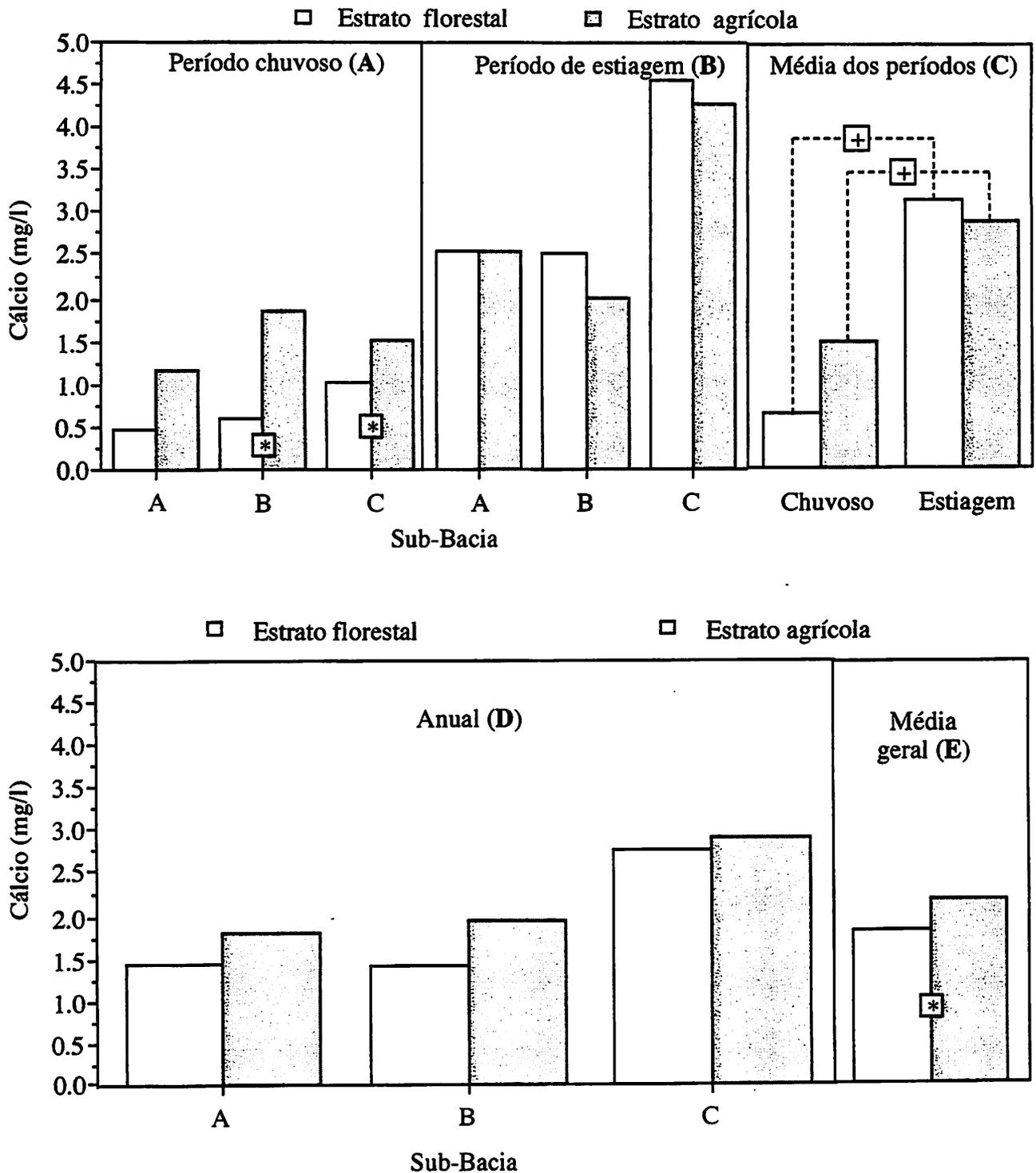


FIGURA 14. Valores médios da concentração de cálcio nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo: **A.** No período de chuva; **B.** No período de estiagem; **C.** Das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (Média dos períodos); **D.** Anual e **E.** Geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola (*) e entre os períodos no mesmo estrato (+), usando o teste de Wilcoxon (soma das ordens).

Provavelmente o cálcio carregado para os cursos d'água é proveniente tanto de fertilizantes/corretivos como de fontes naturais, uma vez que o estrato florestal também contribui para os cursos d'água. O cálcio pode ser carregado tanto pelo movimento de águas subterrâneas, como pela erosão e escoamento superficial. Como estes dois últimos processos são menos pronunciados nos estratos florestais, provavelmente a via subterrânea é neles predominante, com menor contribuição total no período de chuvas que o estrato agrícola, que é mais sujeito à erosão e escoamento superficial (Figura 14). Isto também é reforçado pela ausência de diferenças significativa entre os estratos no período de estiagem. As maiores concentrações no período de estiagem provavelmente decorrem da diminuição da vazão nos deflúvios.

A Figura 15 mostra a variação da concentração de magnésio total nas amostras de água coletadas no deflúvio das sub-bacias nos estratos florestal e agrícola, nos períodos de chuva e de estiagem. Observando-se os resultados apresentados na Figura 16, verifica-se que não houve diferença significativa ($P < 0.05$), entre os estratos florestal e agrícola de nenhuma das sub-bacias estudadas, indicando que as atividades agrícolas realizadas nas sub-bacias não provocaram alterações detectáveis no teor de magnésio no deflúvio. Da mesma forma que o cálcio e provavelmente pela mesma razão, a concentração de magnésio foi maior no período de estiagem tanto para o estrato florestal quanto para o estrato agrícola.

A Figura 17 mostra a variação da condutividade elétrica nas amostras de água coletadas no deflúvio das sub-bacias nos estratos florestal e agrícola, nos períodos de chuva e de estiagem. Os valores médios anuais da condutividade elétrica variam de $18,58 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, no estrato florestal da sub-bacia B, a $65,62 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, no estrato agrícola da sub-bacia C (Tabela 7). Estes valores, apesar de serem considerados baixos, indicam um aumento nas concentrações de substâncias ionizantes de montante (estrato florestal) para jusante (estrato agrícola), em todas as três sub-bacias. A mesma diferença é evidenciada na Figura 18, onde verifica-se que houve diferença significativa entre os estratos florestal e agrícola das sub-bacias no período chuvoso (gráfico A); no período de estiagem (gráfico B) e no período anual (gráfico D); entre os períodos de chuva e de estiagem, no estrato florestal, considerando as três sub-bacias conjuntamente (gráfico C); e também entre os estratos florestal e agrícola, considerando-se todas as três sub-bacias e os dois períodos conjuntamente (gráfico E).

O aumento da condutividade elétrica do deflúvio entre as áreas florestais e agrícolas deve-se em grande parte a um carreamento de material do solo mais intenso nas áreas agrícolas, na forma de material constituinte do solo e de parte dos insumos lá utilizados, principalmente fertilizantes e corretivos na forma iônica. Os processos de erosão do solo e de escoamento superficial, mais intensos na área agrícola, seriam os principais responsáveis pelo carreamento deste material até os cursos d'água, provocando o aumento nas concentrações iônicas no deflúvio. Os resultados aqui obtidos estão de acordo com outros trabalhos realizados sobre o assunto (Pardo 1994, Anjos e Sperling 1993). Não se pode deixar de descartar também que a área drenada pelo curso d'água aumenta no sentido de seu fluxo, o que também pode contribuir para o aumento do conteúdo de sólidos e solutos do deflúvio. O uso de bacias pequenas no presente trabalho visou também minimizar tal contribuição.

A Figura 19 mostra a variação da concentração de fósforo total nas amostras de água coletadas no deflúvio das sub-bacias nos estratos florestal e agrícola nos períodos de chuva e de estiagem. Observa-se aí que os incrementos nas concentrações de fósforo total nas amostras de água coletadas nos deflúvios dos estratos agrícolas das sub-bacias, principalmente, nas sub-bacias A e C, se deram simultaneamente à ocorrência tanto de precipitações (Figura 5) como de irrigações (Figura 6), sugerindo que o fósforo foi carreado até os cursos d'água adsorvido aos sedimentos através do escoamento superficial. A maior concentração deste elemento nos solos agrícolas das sub-bacias A e C (Figura 10), associada ao maior comprimento de rampa, justificam tal comportamento.

As concentrações médias de fósforo total detectadas nas amostras do deflúvio do estrato agrícola das Sub-bacias A, B e C (Tabela 7), superaram o limite máximo permitido, definido pela Deliberação Normativa nº 010 da Comissão de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais- COPAM, de 16/12/86, que é de 0,025 mg/l para as águas de classe 1, 2 e 3.

Observando-se a Figura 20, verifica-se que só houve diferença significativa entre os estratos florestal e agrícola, quando considerada a média geral, ou seja, todas as sub-bacias em conjunto e nos dois períodos (gráfico E). Este fato sugere que, apesar de uma grande variação local, as atividades agrícolas desenvolvidas nas sub-bacias (principalmente A e C) provocaram de uma maneira geral, um incremento na concentração de fósforo total do deflúvio.

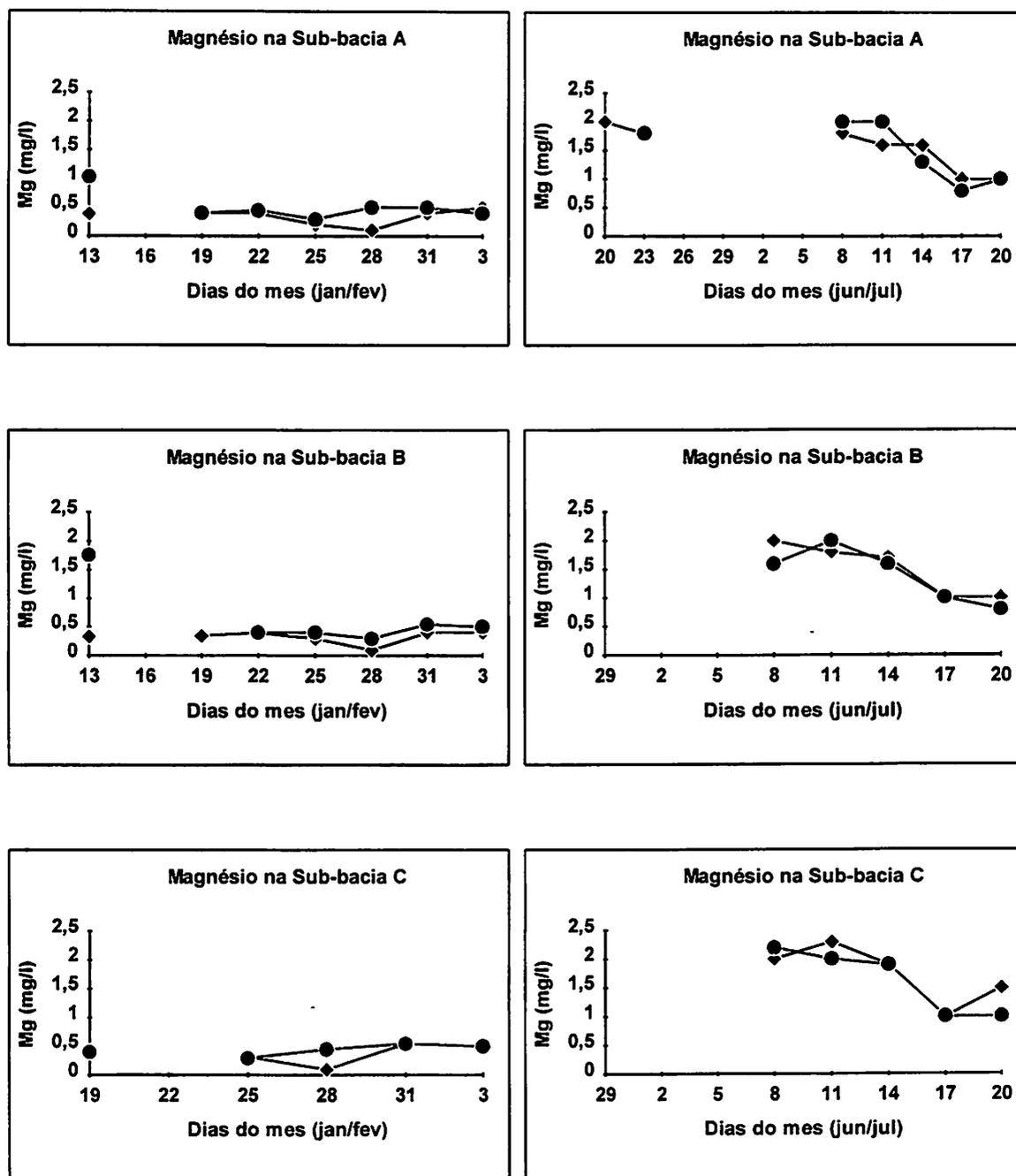


FIGURA 15 - Concentração de magnésio nas amostras de água coletadas nos cursos d'água das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).

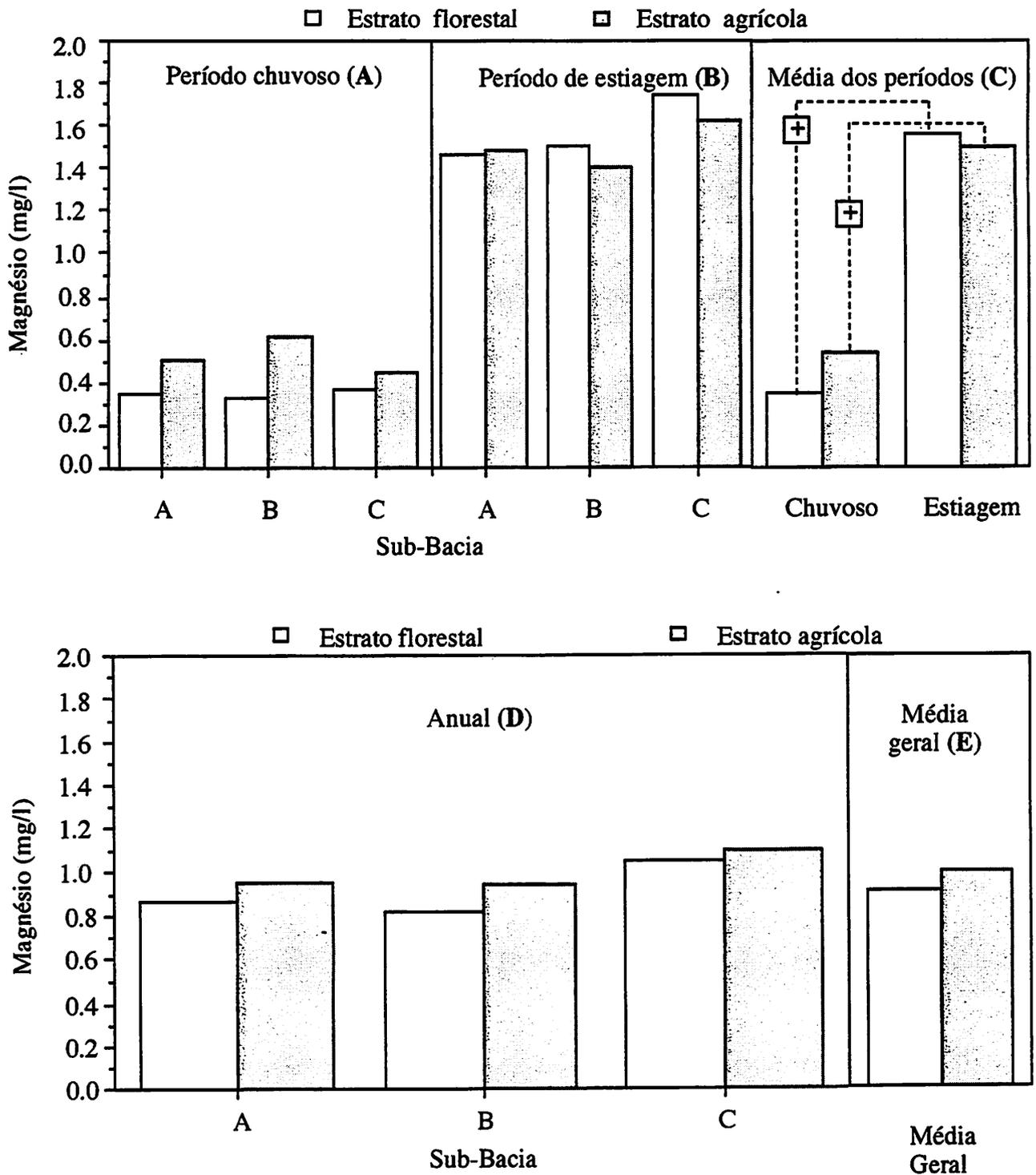


FIGURA 16. Valores médios da concentração de magnésio nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo: **A.** No período de chuva; **B.** No período de estiagem; **C.** Das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (Média dos períodos); **D.** Anual e **E.** Geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola (*) e entre os períodos no mesmo estrato (+), usando o teste de Wilcoxon (soma das ordens).

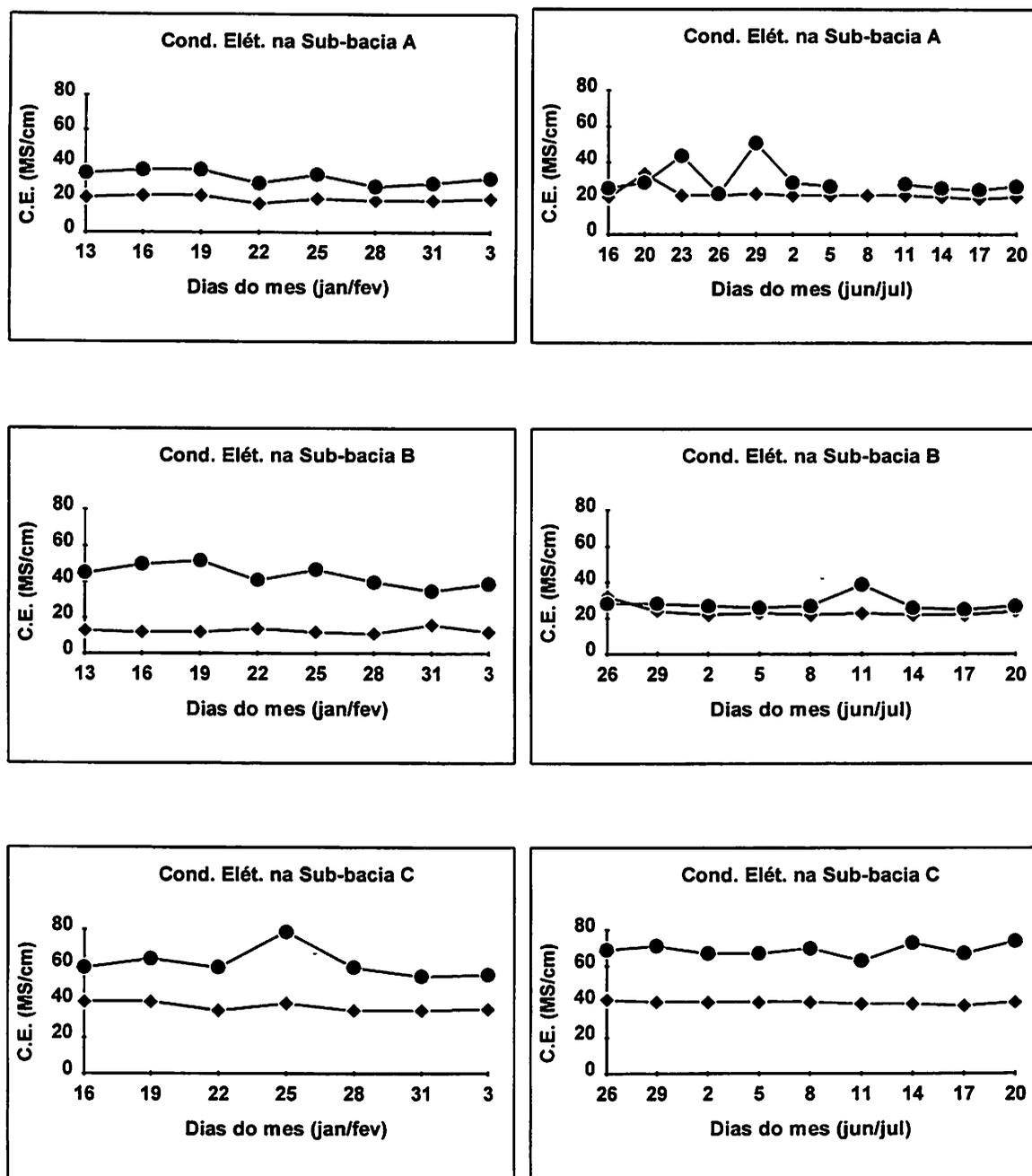


FIGURA 17 - Valores da condutividade elétrica nas amostras de água coletadas nos cursos d'água das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).

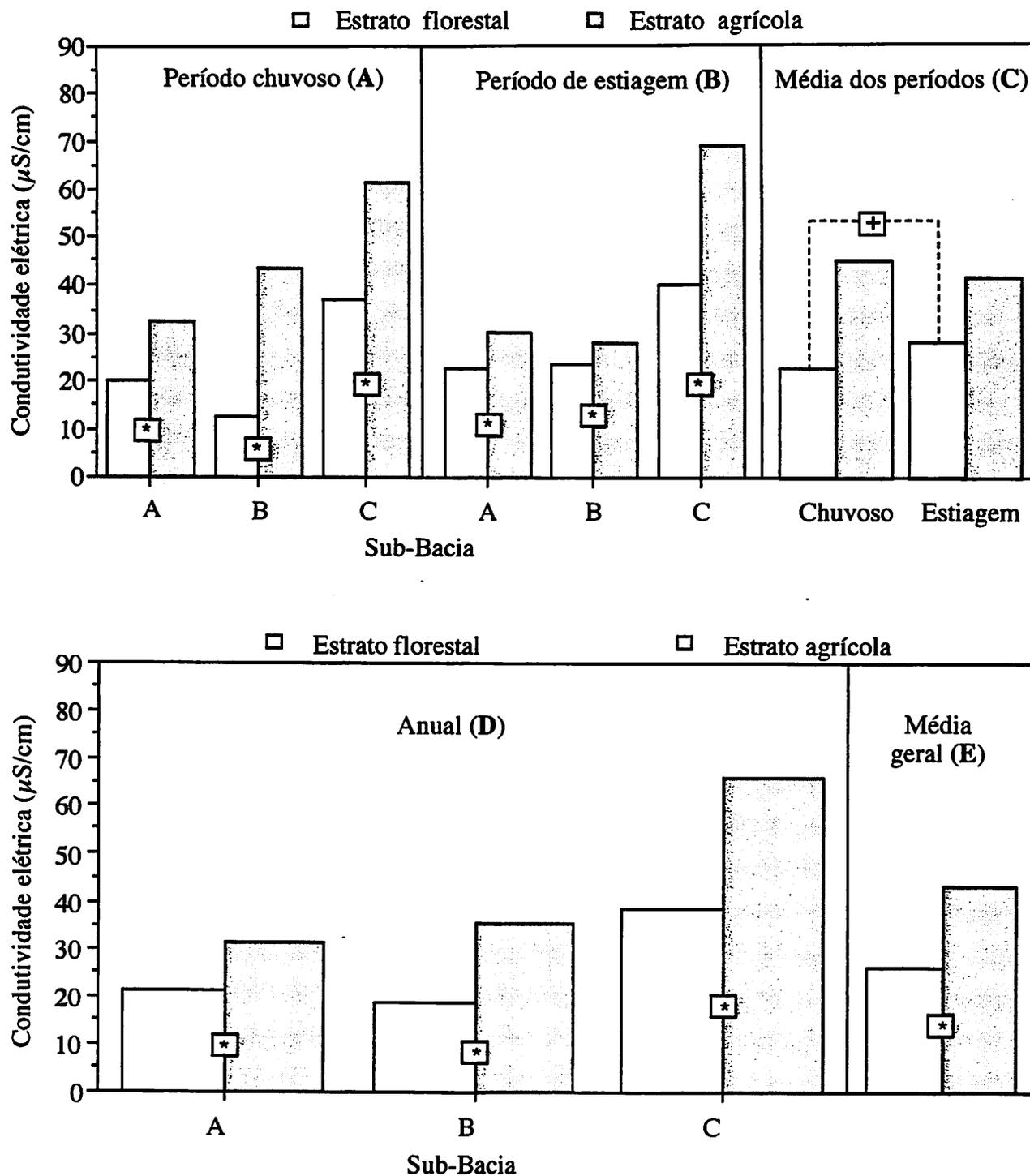


FIGURA 18. Valores médios da condutividade elétrica nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo: A. No período de chuva; B. No período de estiagem; C. Das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (Média dos períodos); D. Anual e E. Geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola (*) e entre os períodos no mesmo estrato (+), usando o teste de Wicoxon (soma das ordens).

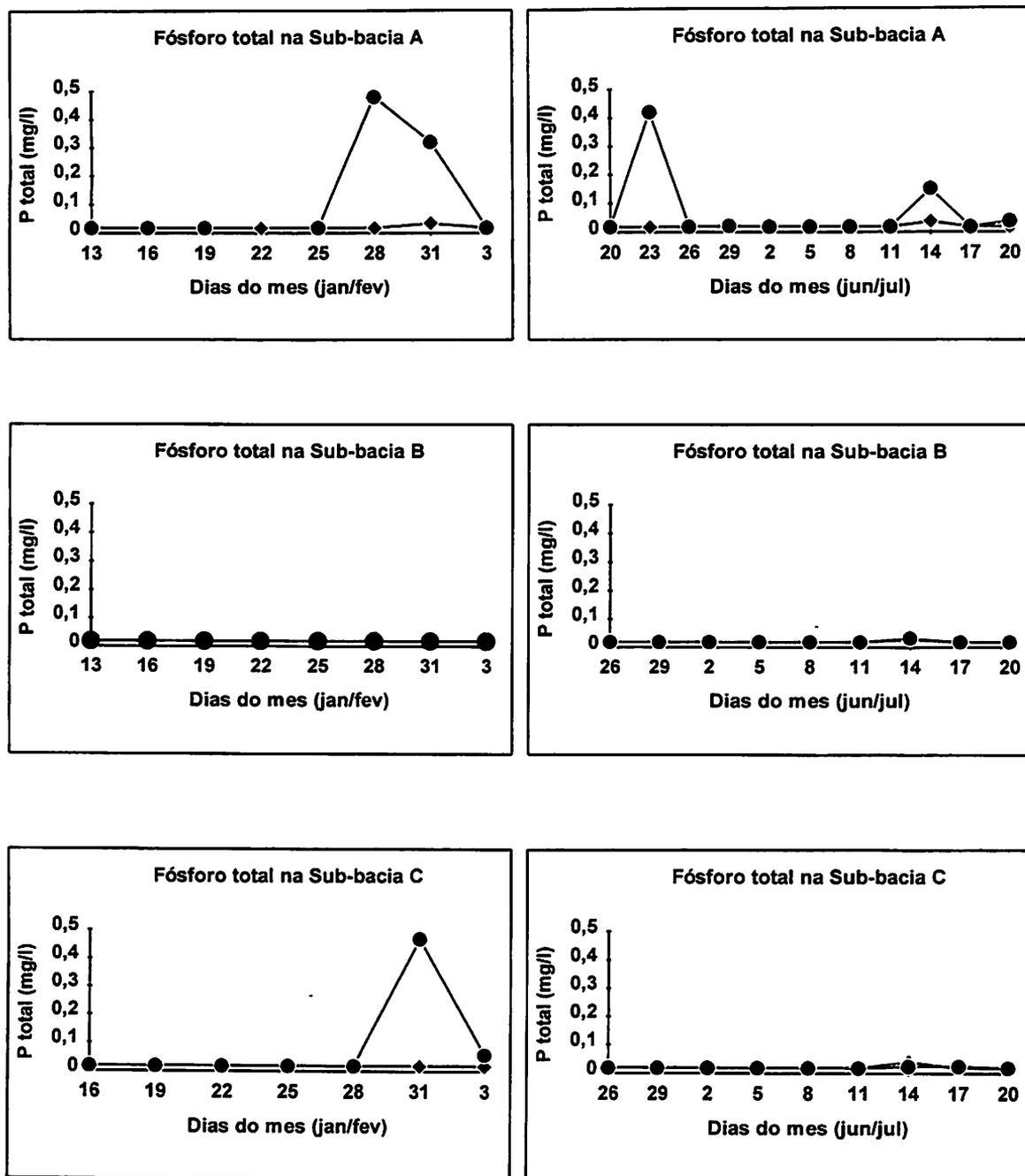


FIGURA 19 - Concentração de fósforo total nas amostras de água coletadas nos cursos d'água das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).

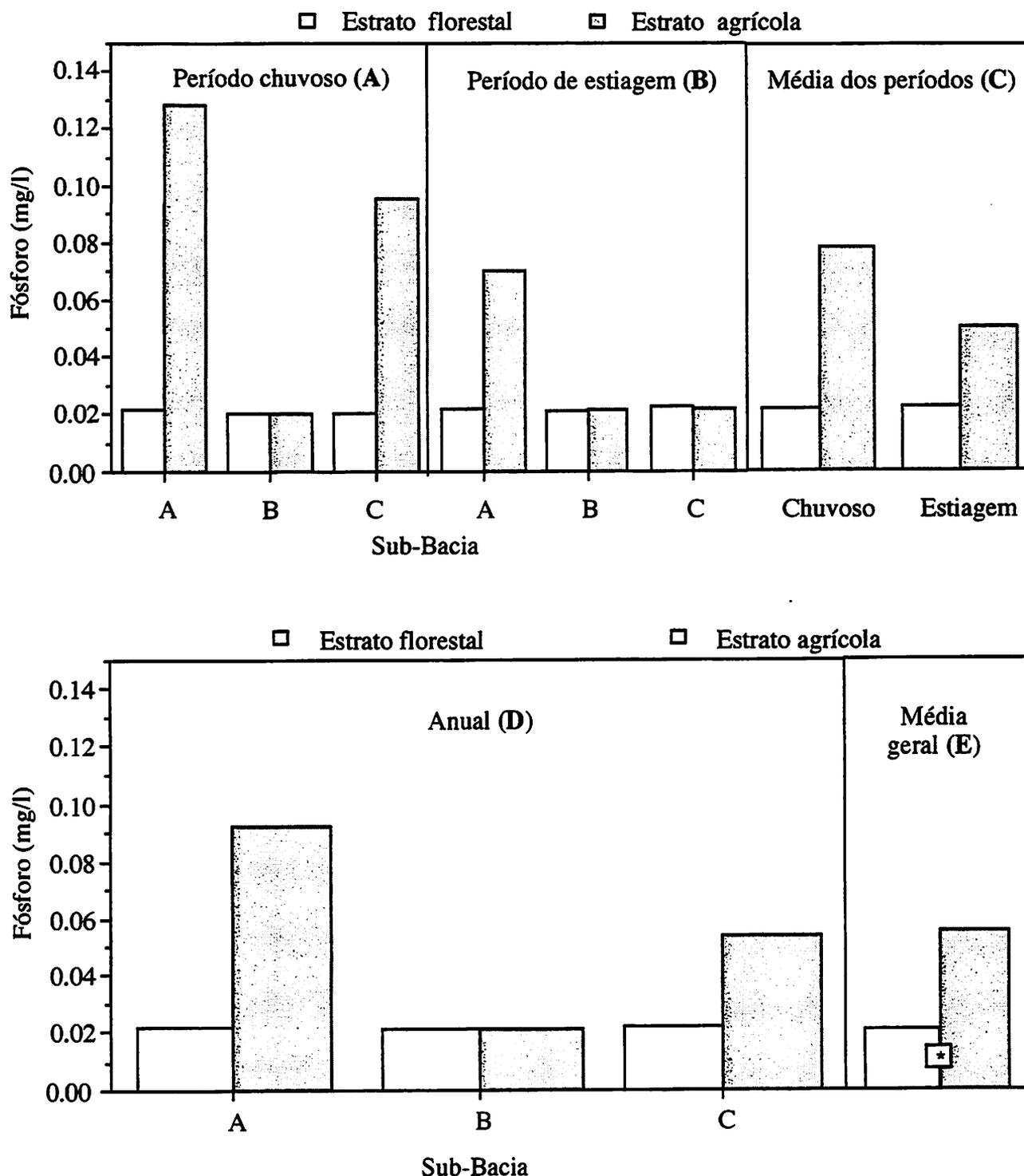


FIGURA 20. Valores médios da concentração de fósforo nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo: **A.** No período de chuva; **B.** No período de estiagem; **C.** Das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (Média dos períodos); **D.** Anual e **E.** Geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola (*) e entre os períodos no mesmo estrato (+), usando o teste de Wilcoxon (soma das ordens).

As Figuras 21 e 23 mostram, respectivamente, as variações das concentrações do nitrito e do nitrato nas amostras de água do deflúvio das três sub-bacias, nos estratos florestal e agrícola nos períodos de chuva e de estiagem. Verifica-se que as concentrações de nitrito nos deflúvios foram maiores nos estratos agrícolas das sub-bacias A e C no período chuvoso, não apresentando variação nos deflúvios de nenhuma das sub-bacias no período de estiagem. Contudo, conforme indica a Figura 22, tais diferenças não foram significativas. O nitrato também não apresentou nenhuma diferença estatística significativa entre os estratos e entre os períodos (Figura 24). De acordo com os levantamentos de campo realizados nas sub-bacias estudadas, constatou-se a utilização de adubação nitrogenada em cobertura na sub-bacia A durante o período chuvoso. Contudo, não se pôde detectar estatisticamente seu efeito no deflúvio.

A Figura 25, mostra a variação do pH nas amostras de água coletadas no deflúvio das três sub-bacias nos estratos florestal e agrícola, nos períodos de chuva e de estiagem. Observando-se a Figura 26, verifica-se que houve diferença significativa entre os estratos florestal e agrícola das sub-bacias B, no período chuvoso (gráfico A) e C, no período de estiagem e no período anual (gráficos B e C). Na sub-bacia B o valor médio de pH foi maior no estrato agrícola, já a sub-bacia C apresentou um comportamento distinto das demais, pois o valor médio de pH foi maior no estrato florestal. Percebe-se ainda que houve diferença significativa entre os períodos de chuva e de estiagem no estrato florestal, quando consideradas as três sub-bacias conjuntamente (gráfico C). Nesse caso, os valores de pH foram maiores no período de estiagem. Este resultado está coerente com os verificados para outros parâmetros físico-químicos já analisados e que têm influência sobre o pH, como o cálcio e magnésio, que também apresentaram maiores concentrações no período de estiagem. Percebe-se que no período chuvoso os valores médios de pH foram maiores no estrato agrícola (com exceção da sub-bacia C), enquanto que no período de estiagem os valores médios de pH foram maiores no estrato florestal. Este fato sugere que por influência do maior volume pluvial no período de chuvas, as áreas agrícolas, por serem menos protegidas dos processos de erosão e escoamento superficial, apresentaram maiores perdas de substâncias aniônicas que atuaram no rebaixamento do pH da água dos deflúvios.

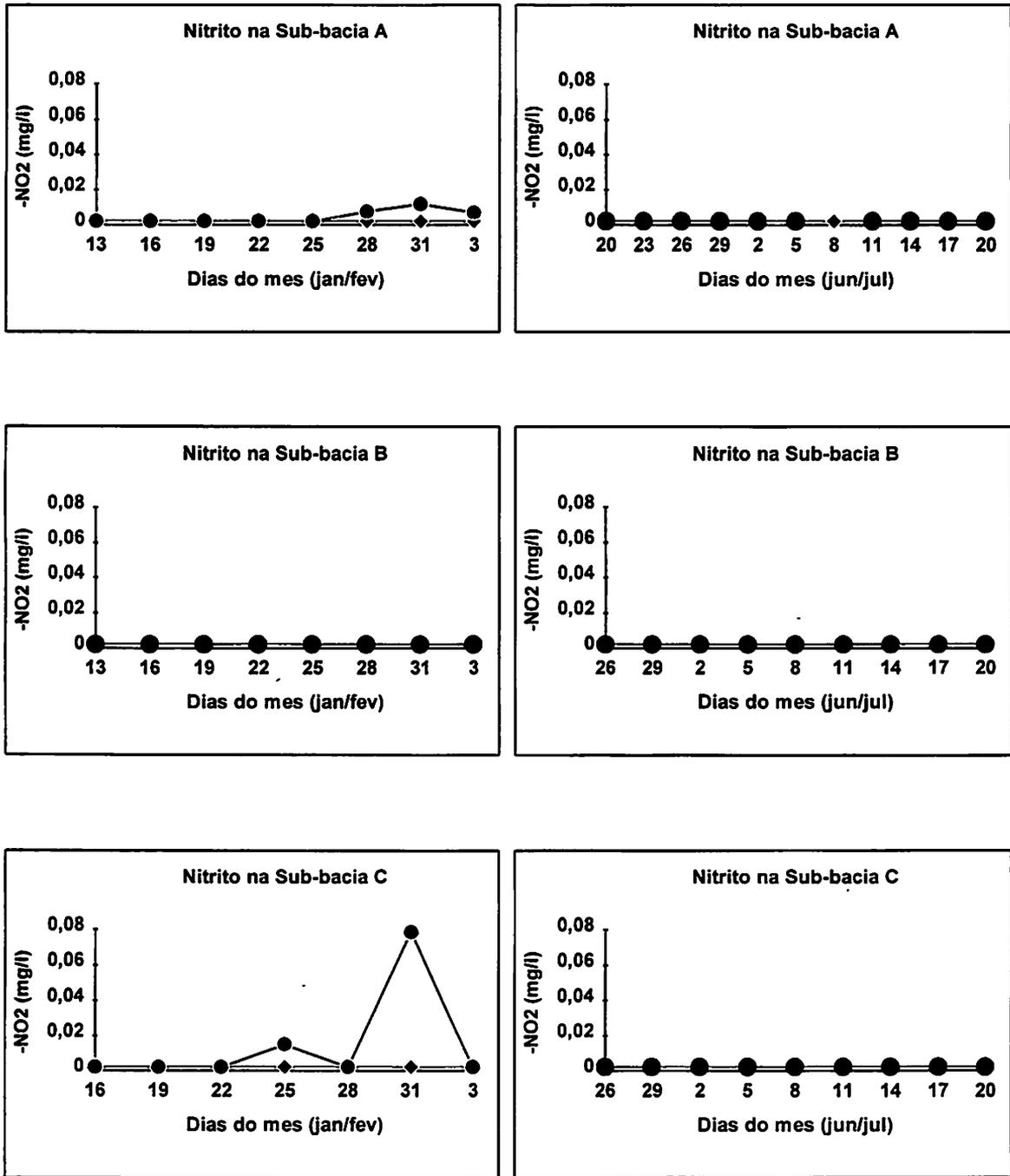


FIGURA 21 - Concentração de Nitrito nas amostras de água coletadas nos cursos d'água das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).

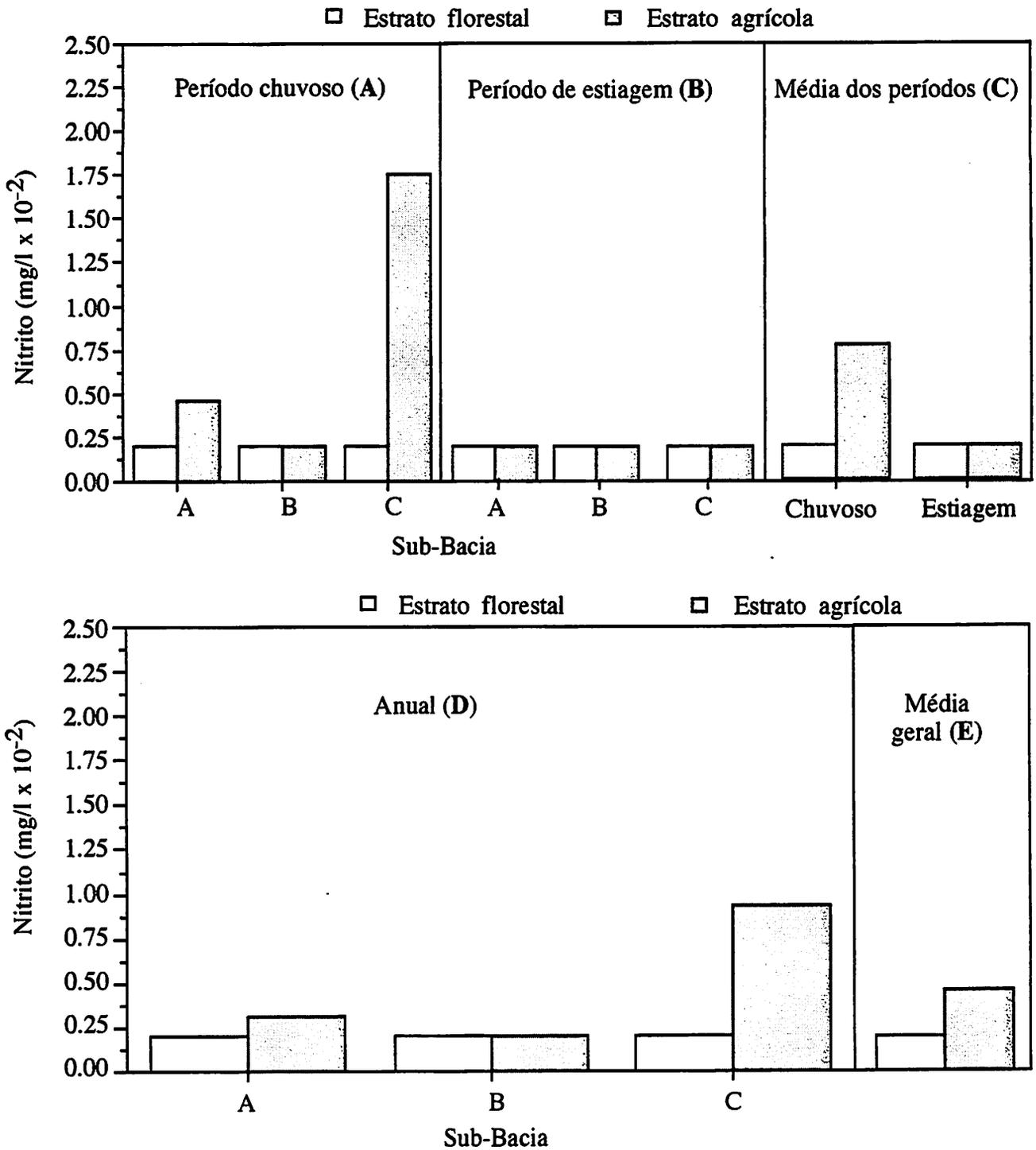


FIGURA 22. Valores médios da concentração de nitrito nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, nos estratos florestal e agrícola, sendo: **A.** No período de chuva; **B.** No período de estiagem; **C.** Das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (Média dos períodos); **D.** Anual e **E.** Geral e anual das três sub-bacias.

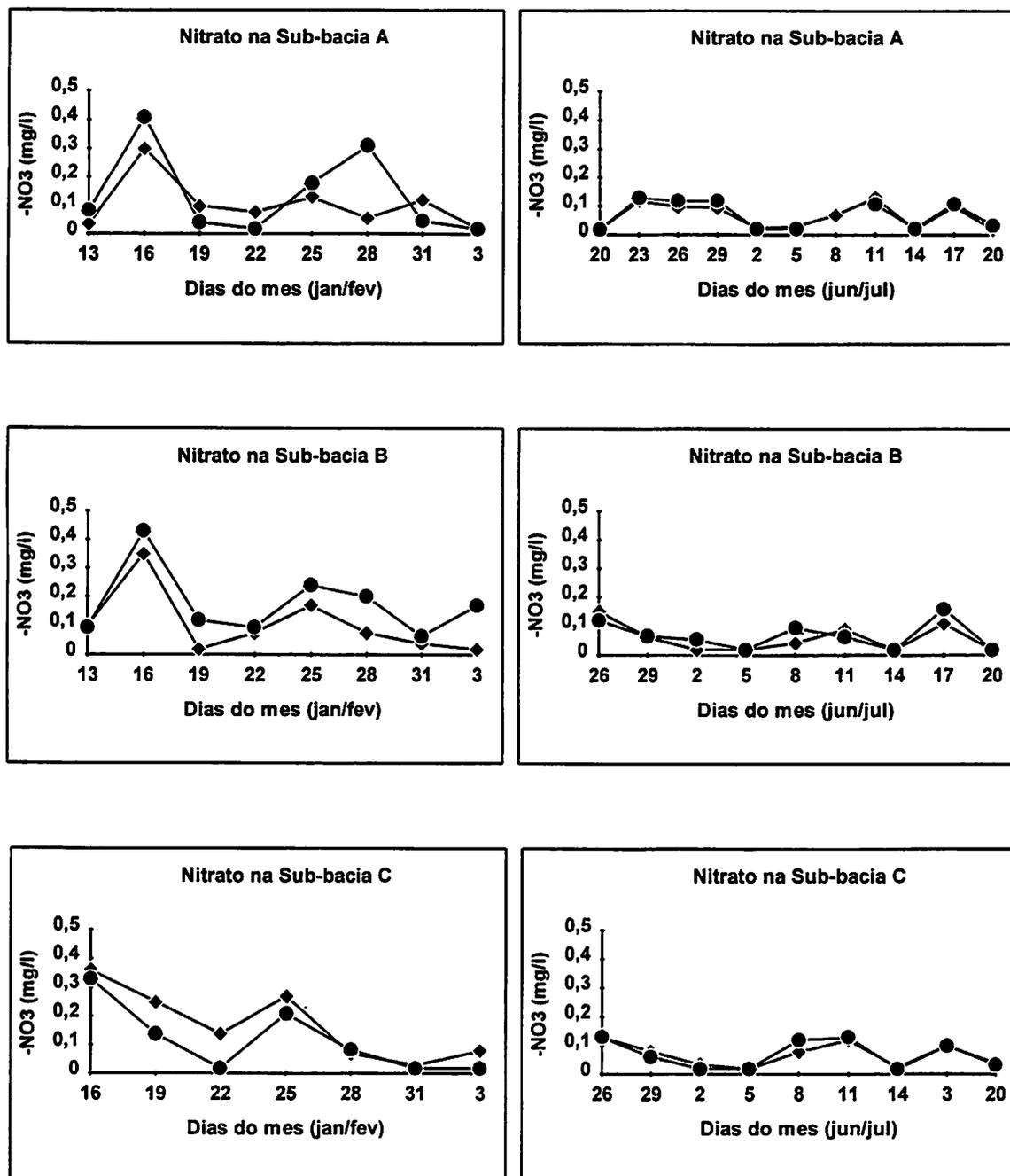


FIGURA 23 - Concentração de nitrato nas amostras de água coletadas nos cursos d'água das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).

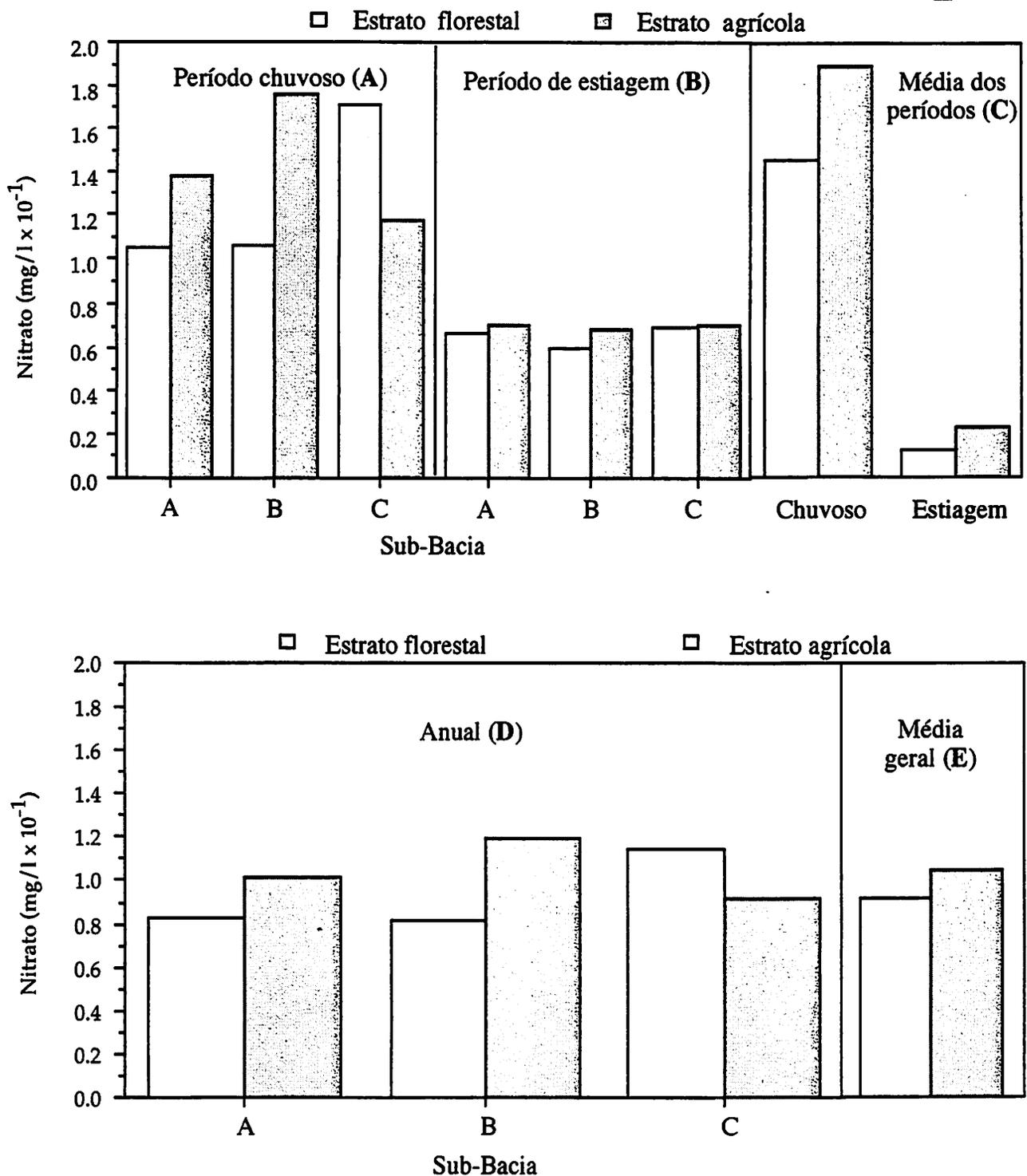


FIGURA 24. Valores médios da concentração de nitrato nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo: **A.** No período de chuva; **B.** No período de estiagem; **C.** Das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (Média dos períodos); **D.** Anual e **E.** Geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola (*) e entre os períodos no mesmo estrato (+), usando o teste de Wilcoxon (soma das ordens).

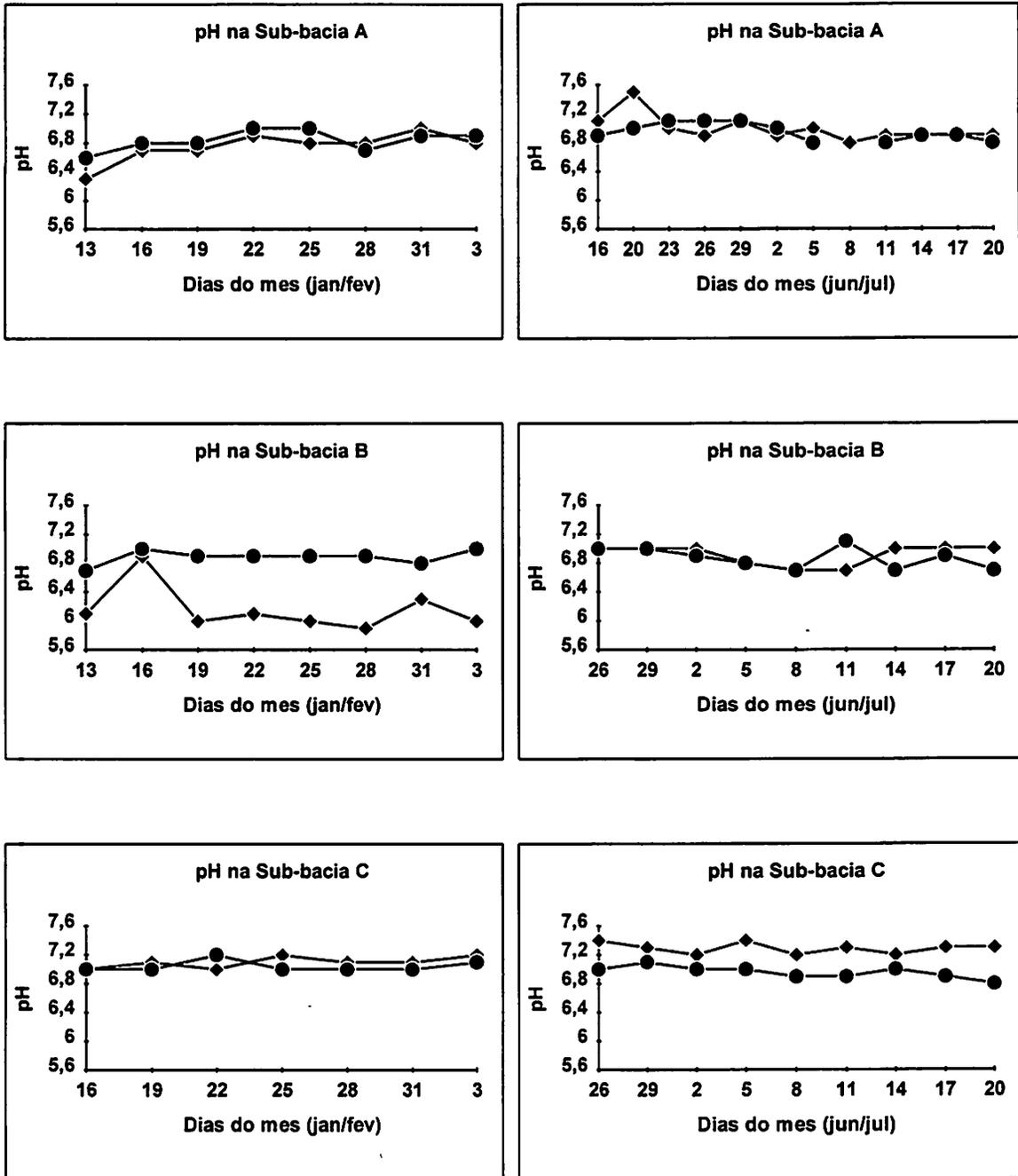


FIGURA 25 - Valores do pH nas amostras de água coletadas nos cursos d'água das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).

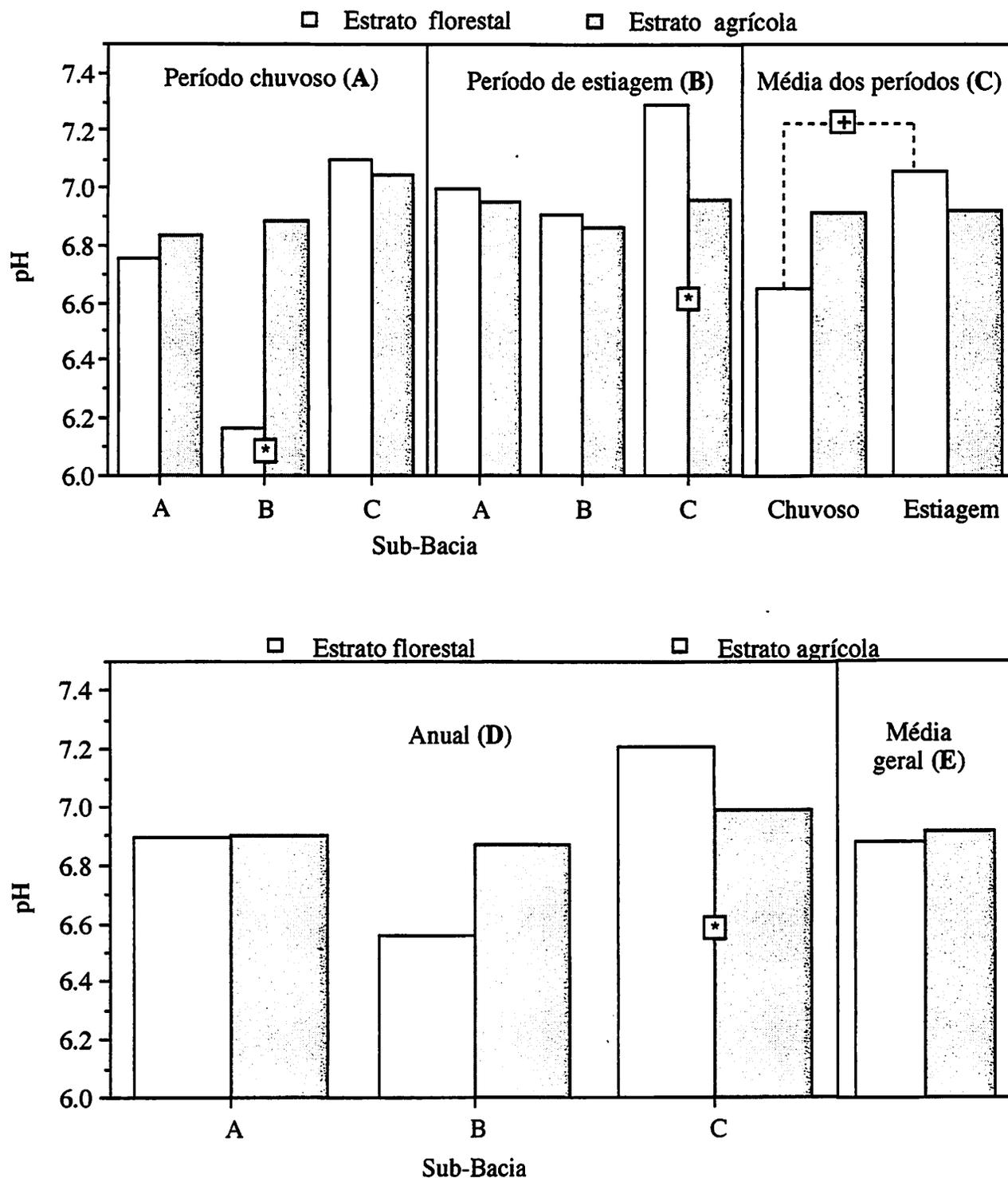


FIGURA 26. Valores médios do pH das amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo: **A.** No período de chuva; **B.** No período de estiagem; **C.** Das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (Média dos períodos); **D.** Anual e **E.** Geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola (*) e entre os períodos no mesmo estrato (+), usando o teste de Wilcoxon (soma das ordens).

As Figuras 27 e 29 mostram, respectivamente, as variações dos valores de sólidos em suspensão totais e turbidez, determinados nas amostras de água coletadas nos deflúvios das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal e agrícola, nos períodos de chuva e de estiagem. A considerável diferença de sólidos em suspensão total e turbidez, entre os estratos florestal e agrícola, indica a elevada erodibilidade proporcionada pelos cultivos, sobretudo da batata, em decorrência do intenso revolvimento das camadas superficiais dos solos. Esta condição, associada ao relevo acidentado e comprimentos de rampa consideráveis, predispõe os solos das vertentes cultivadas a processos acelerados de erosão hídrica. As variações de sólidos em suspensão e turbidez (Figuras 27 e 29) foram coerentes com a distribuição pluviométrica (Figura 5). Entretanto, observam-se elevações pontuais desses valores no período de estiagem, as quais sugerem o efeito da irrigação no processo erosivo nas sub-bacias A e B.

Os valores máximos de Turbidez detectados nas amostras do deflúvio do estrato agrícola das Sub-bacias A e C (Tabela 7), superaram o limite máximo permitido, definido pela Resolução nº 20 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, de 18/06/86, e pela Deliberação Normativa nº 010 da Comissão de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais - COPAM, de 16/12/86, que é de 100 uT para as águas de classe 2 e 3.

Observa-se nas Figuras 28 e 30 que houve diferença significativa entre os estratos florestal e agrícola das três sub-bacias nos períodos de chuva (gráfico A), de estiagem (gráfico B) e anual (gráfico D), e também entre os estratos florestal e agrícola quando consideradas todas as sub-bacias conjuntamente nos dois períodos, na média geral (gráfico E). Tais resultados comprovam o efeito da atividade agrícola na erodibilidade do solo e arraste de sedimentos até os cursos d'água.

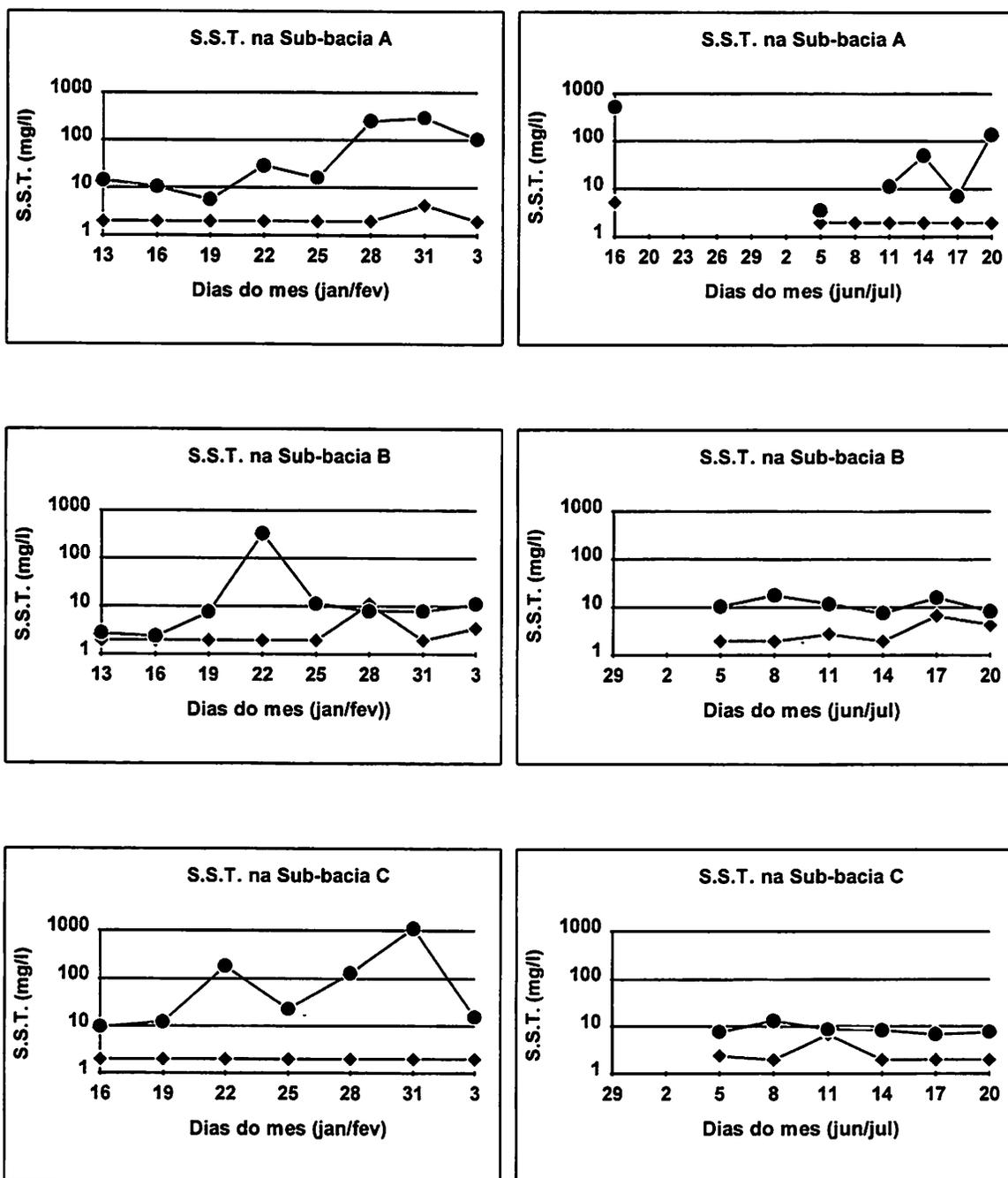


FIGURA 27 - Concentração dos sólidos em suspensão totais nas amostras de água coletadas nos cursos d'água das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).

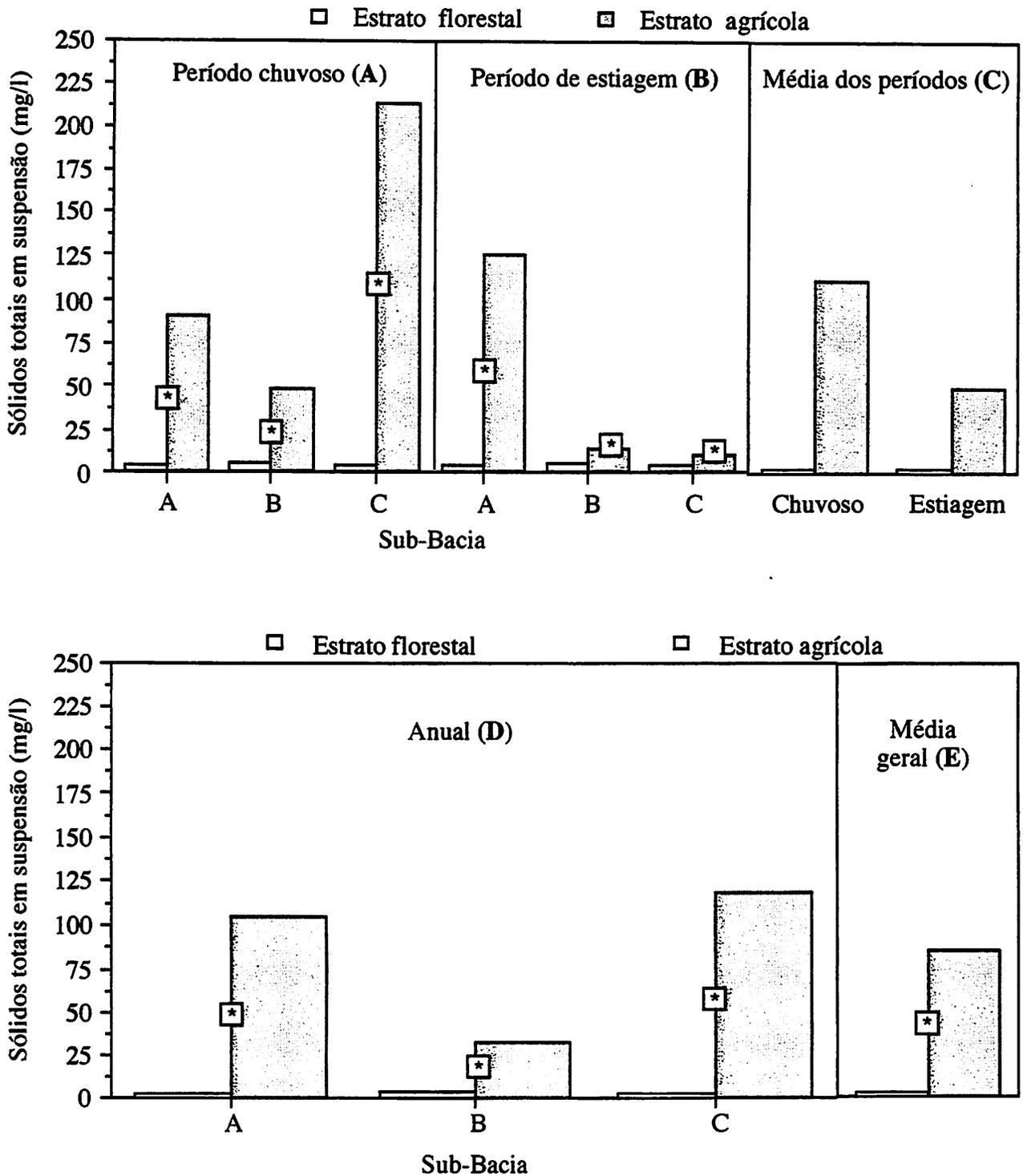


FIGURA 28. Valores médios da concentração de sólidos totais em suspensão nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo: A. No período de chuva; B. No período de estiagem; C. Das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (Média dos períodos); D. Anual e E. Geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola (*) e entre os períodos no mesmo estrato (+), usando o teste de Wilcoxon (soma das ordens).

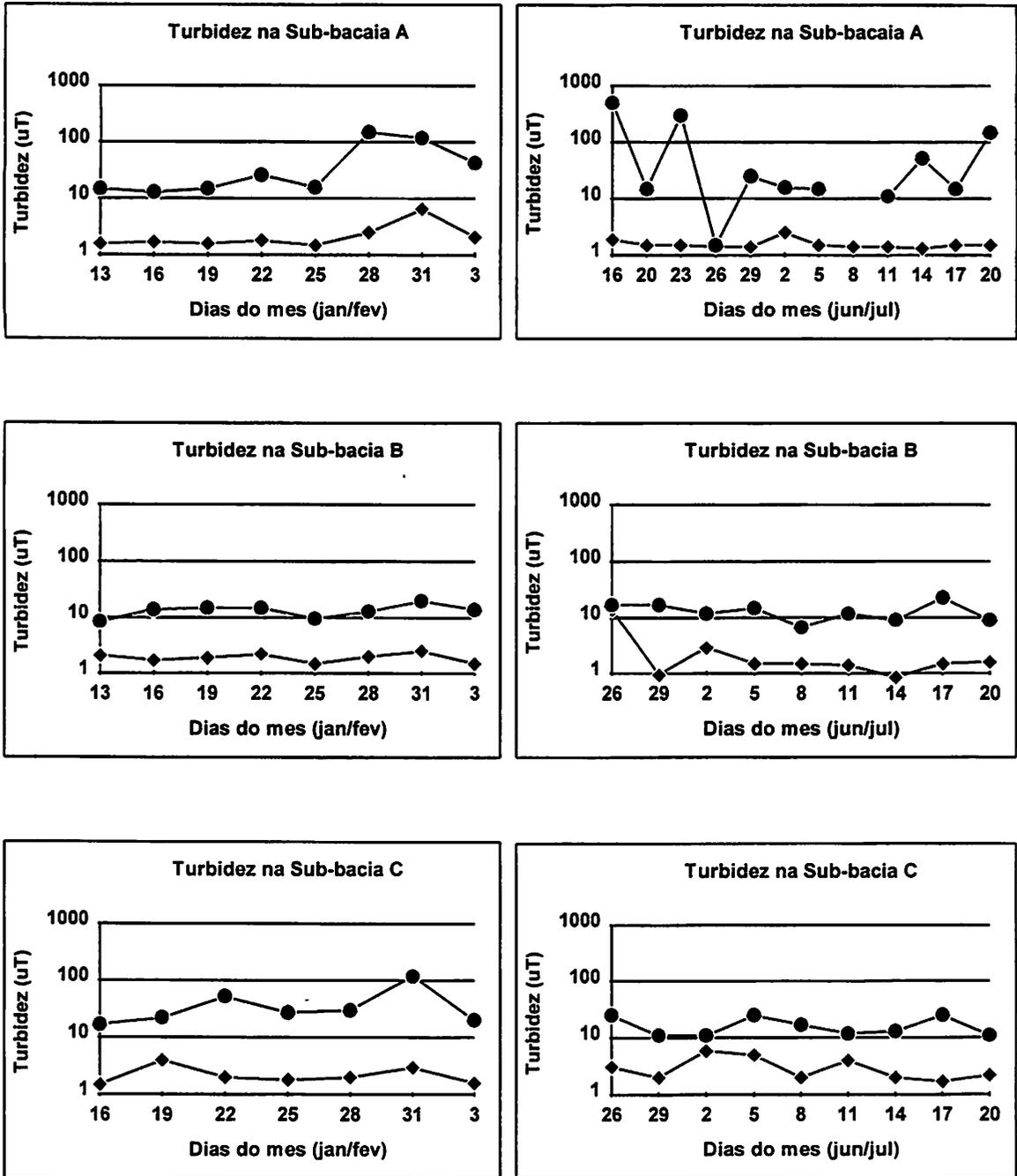


FIGURA 29 - Valores da turbidez nas amostras de água coletadas nos cursos d'água das sub-bacias A, B e C, nos estratos florestal (◆) e agrícola (●), nos períodos de chuva (jan./fev.) e de estiagem (jun./jul.).

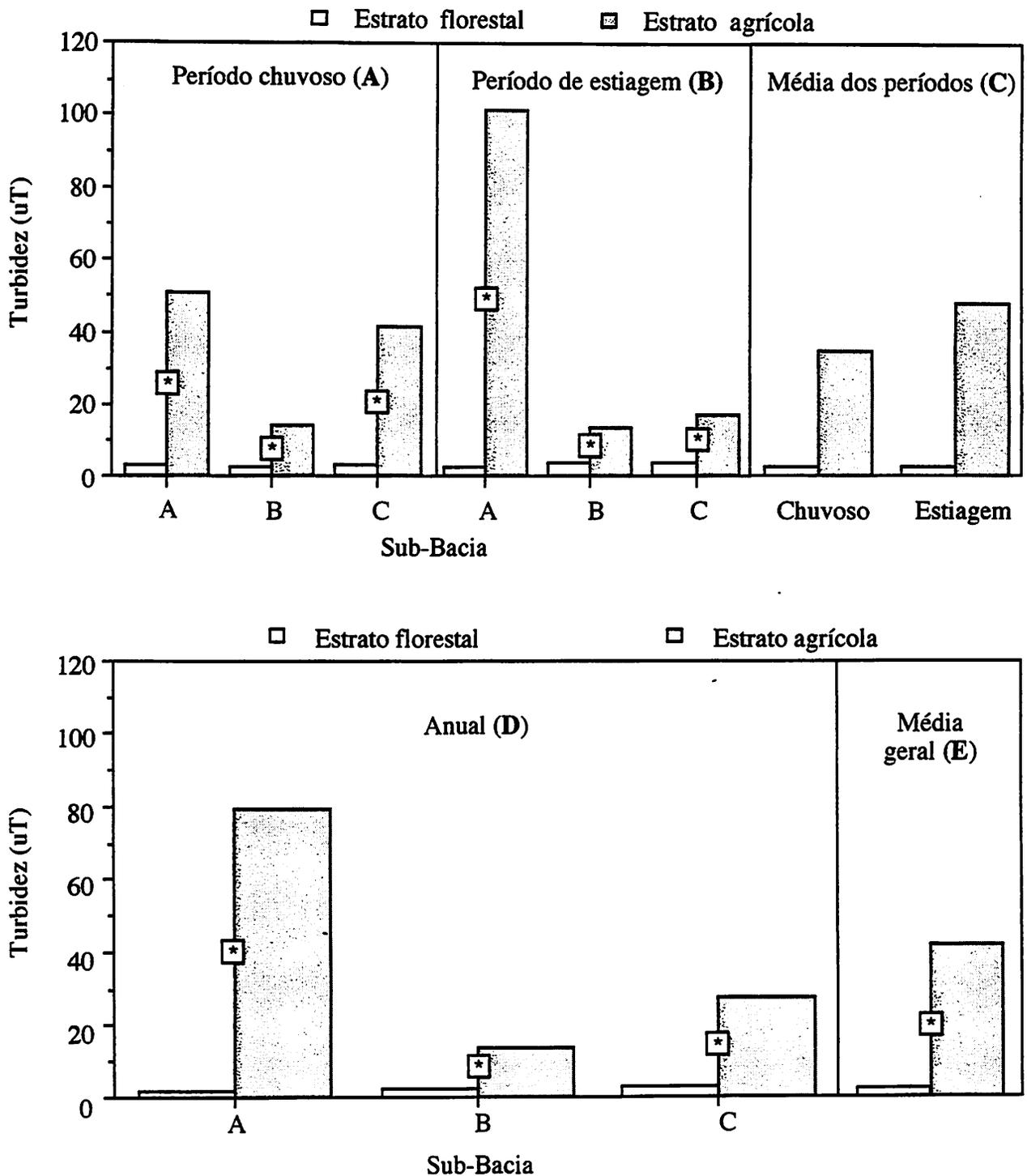


FIGURA 30. Valores médios da turbidez nas amostras do deflúvio das três sub-bacias, coletadas nos estratos florestal e agrícola, sendo: **A.** No período de chuva; **B.** No período de estiagem; **C.** Das três sub-bacias nos períodos chuvoso e de estiagem (Média dos períodos); **D.** Anual e **E.** Geral e anual das três sub-bacias. Diferença significativa ($P < 0.05$) entre os estratos florestal e agrícola (*) e entre os períodos no mesmo estrato (+), usando o teste de Wilcoxon (soma das ordens).

4.7 Resíduos de pesticidas

Os resultados analíticos das amostras do deflúvio dos dois estratos (florestal e agrícola) das três sub-bacias revelaram a presença de resíduos do inseticida aldicarbe em amostras coletadas no estrato agrícola da sub-bacia A, no período de estiagem. Com relação ao pesticida forate, não foram detectados resíduos do composto em qualquer das amostras analisadas.

Nas amostras coletadas no estrato agrícola da sub-bacia A, os níveis de resíduo do aldicarbe foram: 0,52 µg/l, em 20/06/95; 6,9 µg/l, em 23/06/95; e 0,24 µg/l, em 20/07/95. O nível máximo de resíduo desse composto (160 µg/l) foi detectado em 23/06/95 em uma amostra coletada excepcionalmente do escoamento superficial advindo da irrigação. Tais resultados são coerentes com outros trabalhos que revelaram a presença de resíduos de aldicarbe em amostras de água de deflúvio adjacentes a plantios de batata (Regitano 1993).

Os curtos períodos de tempo decorridos entre as aplicações do aldicarbe (20/06/95) e a detecção de seus resíduos no deflúvio eliminam a possibilidade de um transporte relevante via águas subterrâneas. Desta forma, o escoamento superficial foi certamente a via principal de transporte dos resíduos de aldicarbe até o curso d'água. Os escoamentos superficiais foram provocados principalmente por problemas de manejo e operação do sistema de irrigação.

Os níveis de resíduos de aldicarbe detectados nas amostras do deflúvio (0,52; 6,9 e 0,24 µg/l) são inferiores ao máximo permitido pela Portaria nº 36 do Ministério da Saúde, de 19/01/90, que determina os padrões de potabilidade da água para o consumo humano, que é de 10 µg/l para pesticidas organofosforados e carbamatos em geral. Todavia, os valores encontrados podem ser considerados preocupantes, uma vez que países com uma legislação mais rigorosa adotam 0,1 µg/l como valor máximo permissível em água potável para qualquer pesticida individualmente e 0,5 µg/l para mistura de compostos.

4.8 Análise dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água nos estratos florestal e agrícola e das sub-bacias hidrográficas

4.8.1 Análise de componentes principais

As Figuras 31 a 33 mostram a ordenação dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água (variáveis ambientais), nos diagramas A, e das sub-bacias hidrográficas e seus respectivos estratos (amostras), nos diagramas B produzidos pela análise de componentes principais (PCA). Uma das principais metas das técnicas de ordenação, como a PCA, é definir os gradientes ambientais fundamentais e avaliar a importância relativa das variáveis ambientais dentro do grupo de dados (Kent & Coker 1992). Os gradientes ambientais e a importância relativa e intercorrelação entre os parâmetros físico-químicos são mostrados pelos diagramas A das Figuras 31 a 33. O comprimento das setas é proporcional a sua importância e os ângulos entre elas reflete as intercorrelações entre as variáveis. O ângulo entre uma determinada seta e cada eixo de ordenação representa seu grau de correlação com o eixo.

Na PCA realizada para o período chuvoso (Figura 31), os autovalores (eigenvalues) foram 0,967, para o primeiro eixo, e 0,023, para o segundo eixo, representando 96,7 % e 99,0 % da variância total acumulada, valores estes muito elevados para o primeiro eixo, indicando aí uma ordenação clara (ter Braak 1995). Sólidos totais em suspensão (SST), nitrito ($-\text{NO}_2$), turbidez (Turb.) e condutividade elétrica (C.E.), foram os parâmetros físico-químicos mais significativamente correlacionados com o primeiro eixo de ordenação. Isto é confirmado pelas correlações destas variáveis com o primeiro eixo: 1,0; 0,95; 0,83 e 0,82, respectivamente. No segundo eixo desse diagrama, o fósforo total (0,64 de correlação) e a turbidez (0,53) foram os parâmetros mais importantes, mas a variância do segundo eixo é desprezível. Quanto às sub-bacias e seus estratos, verifica-se, no diagrama de ordenação B (Figura 31) que os estratos florestal e agrícola das três sub-bacias apresentam-se nitidamente separados em duas partes do diagrama. Percebe-se ainda, que os estratos florestais encontram-se mais próximos uns dos outros, indicando maior homogeneidade entre os mesmos, e que os estratos agrícolas encontram-se mais dispersos no diagrama, indicando maior heterogeneidade. O estrato agrícola da sub bacia

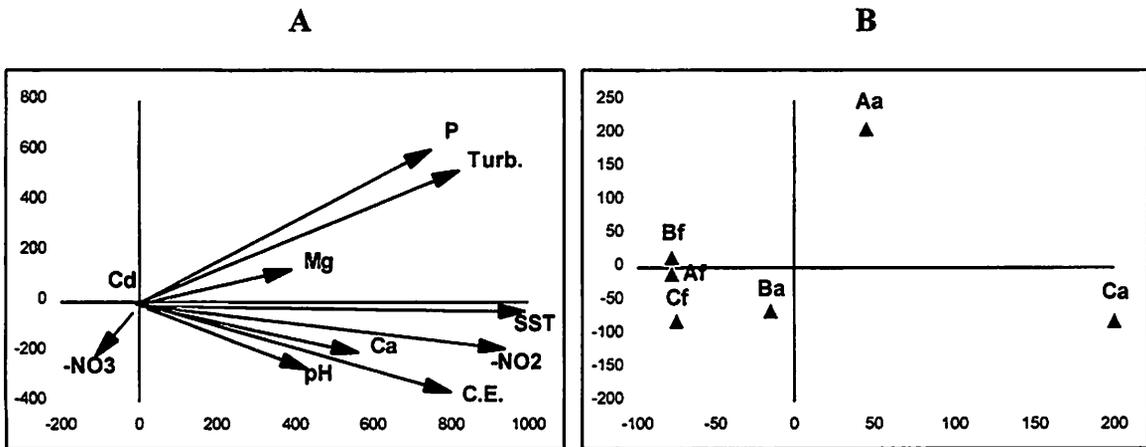


FIGURA 31 - Diagramas de ordenação dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água (A) e das sub-bacias hidrográficas; A, B e C; e seus respectivos estratos; f, florestal e a, agrícola (B); produzidos por análise de componentes principais para o período chuvoso.

B, por exemplo, encontra-se relativamente próximo da região central do diagrama, o que indica que esta sub-bacia foi a que apresentou menor correlação com os parâmetros físico-químicos de maior relevância.

A dicotomia entre os dois estratos na estação chuvosa está de acordo com um aumento geral de todas as variáveis no sentido estrato florestal - estrato agrícola (exceto para o nitrato). Verifica-se também que o estrato agrícola da sub-bacia C posiciona-se mais à direita do diagrama, enquanto que a sub-bacia A situa-se também à direita porém, na parte superior do diagrama, indicando, em ambos os casos, que os parâmetros identificados como os mais fortemente correlacionados com o primeiro eixo, foram também os fatores que mais intensamente influenciaram a variação do estrato agrícola da sub-bacia C e A. Sólidos totais em suspensão e nitrito foram os parâmetros que apresentaram maior peso e correlação com o estrato agrícola da sub-bacia C, ao passo que fósforo e turbidez, foram os que mais fortemente se correlacionaram com o estrato agrícola da sub-bacia A.

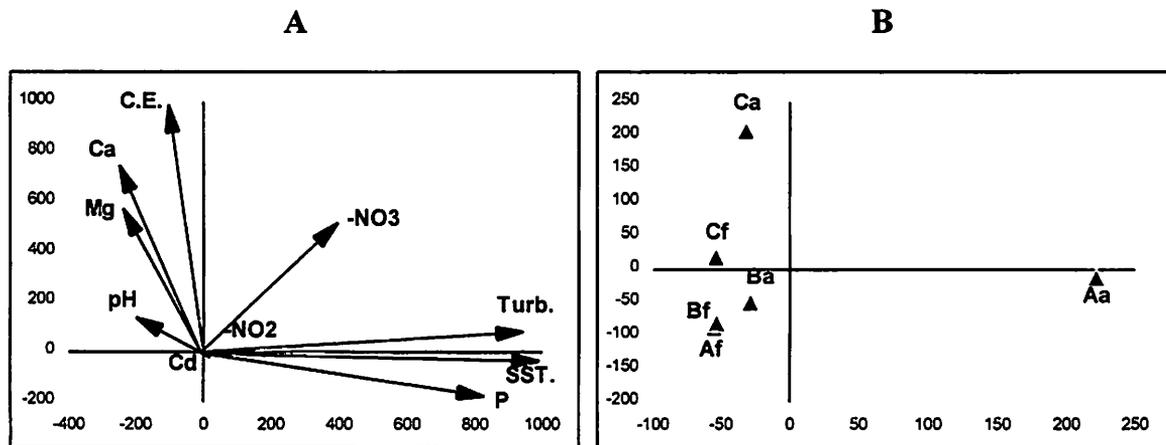


FIGURA 32 - Diagramas de ordenação dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água (A) e das sub-bacias hidrográficas; A, B e C; e seus respectivos estratos; f, florestal e a, agrícola (B); produzidos por análise de componentes principais para o período de estiagem.

Na PCA realizada para o período de estiagem (Figura 32), os autovalores (eigenvalues) foram 0,925, para o primeiro eixo, e 0,075 para o segundo eixo, representando 92,5 % e 99,9 % da variância total acumulada, valores estes muito elevados para o primeiro eixo, indicando aí uma ordenação clara (ter Braak 1995). Sólidos em suspensão total (SST), turbidez (Turb) e fósforo total (P) foram os parâmetros físico-químicos mais significativos e os mais fortemente relacionados com o primeiro eixo de ordenação (diagrama A). As correlações com o primeiro eixo — 1,0; 0,99 e 0,84; respectivamente — confirmam estas observações. O segundo eixo do diagrama teve, como correlações mais altas, a condutividade elétrica, C.E. (0,99) e o Ca (0,74), mas a variância explicada por este eixo é desprezível. Já a ordenação dos estratos (diagrama B) indica apenas uma boa separação do estrato agrícola da sub-bacia A. O estrato agrícola da sub-bacia A apresenta comportamento distinto dos demais e com grande correlação com os sólidos em suspensão, turbidez e fósforo, provavelmente porque houve maior área plantada que todas as outras e sob regime de irrigação mais intenso que a sub-bacia B (não houve irrigação na C) durante o período de coleta de estiagem.

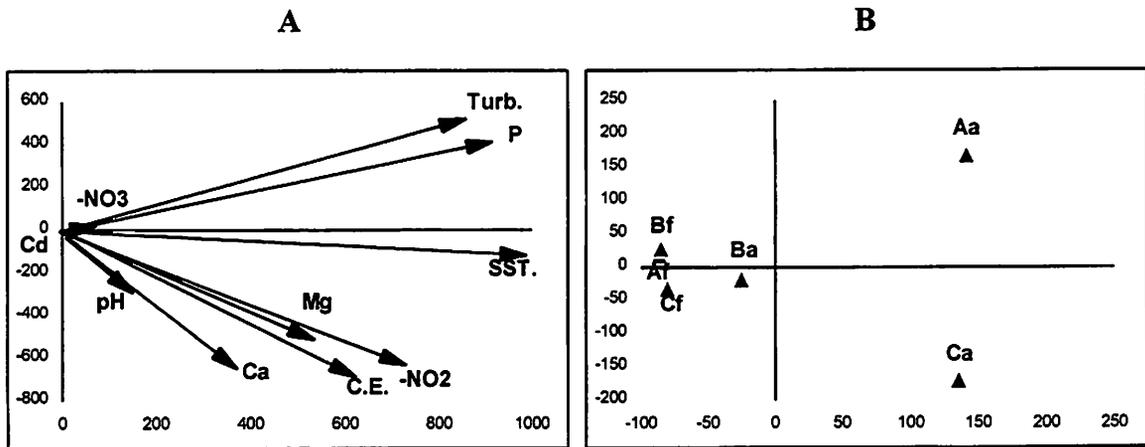


FIGURA 33 - Diagramas de ordenação dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água (A) e das sub-bacias hidrográficas; A, B e C; e seus respectivos estratos; f, florestal e a, agrícola (B); produzidos por análise de componentes principais para os períodos de estiagem e chuvas tratados conjuntamente.

No período anual (Figura 33) verificam-se tendências semelhantes às observadas no período de chuva, indicando que as alterações nos parâmetros físico-químicos dos deflúvios foram mais significativas nesta estação. Os autovalores foram 0,888, para o primeiro eixo, e 0,104, para o segundo eixo, representando 88,8 % e 99,2 % da variância total, respectivamente. Isto indica que o primeiro eixo explicou a maior parte da variância dos dados, sendo o segundo desprezível. Os parâmetros que apresentaram maior correlação com o primeiro eixo foram SST (1,0), P (0,91), Turb. (0,85), -NO₂ (0,73) e C.E.(0,64). No segundo eixo de ordenação, os parâmetros que apresentaram as maiores correlações foram C.E.(0,72); Ca (0,66) e -NO₂ (0,64).

Estes resultados indicam que os estratos agrícolas das sub-bacias A e C foram os mais fortemente correlacionados com o aumento dos valores dos parâmetros de qualidade da água relacionados. A maior proximidade do estrato agrícola da sub-bacia B em relação aos estratos florestais das demais provavelmente deve-se às melhores condições de proteção dos solos e recursos hídricos conferida pela maior cobertura florestal nas encostas e topo adjacentes às suas áreas agrícolas. Esta bacia também apresenta comprimento de rampa e declividade média relativamente menores, o que reduz os efeitos negativos dos movimentos de água.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pôde-se inferir que a atividade agrícola alterou marcadamente os parâmetros físico-químicos da água dos deflúvios das três sub-bacias estudadas, contribuindo para uma notável perda em qualidade de água.

Apesar das lâminas d'água aplicadas nas áreas irrigadas das sub-bacias A e B não terem sido suficientes para desencadear processos erosivos, percebeu-se que a má operação e manutenção dos equipamentos têm provocado erosões localizadas (sulcos), conforme constatações de campo;

A exploração agrícola predominante — a cultura da batata — está sendo conduzida em glebas, cuja capacidade de uso recomenda coberturas vegetais menos expositoras do solo a processos erosivos, tais como: pastagens, reflorestamentos ou cobertura nativa. O fator limitante mais expressivo é o relevo acidentado, cuja declividade média é cerca de 30%;

A ocorrência de vegetação nativa mais expressiva e em maiores extensões nas glebas de topo da sub-bacia B refletiu positivamente na alteração da qualidade do deflúvio da mesma;

Os parâmetros físico-químicos analisados no deflúvio da sub-bacia A refletiram a maior intensidade de uso do solo, a maior área cultivada, a maior quantidade de agroquímicos, as maiores intensidades de irrigação e mecanização agrícola, associados a comprimentos de rampa superiores a 350 m;

Os parâmetros físico-químicos dos deflúvios das três sub-bacias estudadas que foram mais fortemente afetados pela atividade agrícola foram os sólidos totais em suspensão, a turbidez, a condutividade elétrica e o fósforo total, que são, em sua maioria, os mais diretamente relacionados ao processo erosivo e ao escoamento superficial;

Os resultados analíticos das amostras dos deflúvios revelaram que, no período de estiagem, amostras coletadas no estrato agrícola da sub-bacia A apresentaram resíduo do inseticida aldicarbe, sugerindo que esse composto foi carregado até o curso d'água através do escoamento superficial gerado pelo mau uso da irrigação;

Como sugestão geral advinda do presente trabalho propõe-se que devem ser estimuladas práticas agrícolas que se preocupem com a conservação dos recursos naturais, particularmente respeitando a capacidade de uso do solo e a proteção dos mananciais. Em particular, deve-se voltar a atenção para: (a) práticas adequadas de preparo e manejo dos solos, atentando-se particularmente para a condução em nível de todas as operações motomecanizadas; (b) manejo apropriado de sistemas de irrigação; (c) conservação e/ou recuperação da cobertura florestal nativa (especialmente as matas de topo, de encostas inclinadas e ciliares); (d) uso criterioso de pesticidas, observando-se tanto as características de sítio como as do produto, tais como a solubilidade/sorção, a meia-vida, o coeficiente de partição, etc..

Sugere-se, que monitoramentos de mananciais hídricos em bacias hidrográficas com ocupação agrícola, devam observar as épocas de coleta das amostras de água mais propícias para a detecção de eventuais alterações dos parâmetros de qualidade de água a serem analisados, de acordo com as culturas a serem exploradas e com os produtos agroquímicos utilizados.

Outras pesquisas poderiam ser realizadas a fim de se estudarem as alterações dos parâmetros de qualidade de água nos deflúvios de sub-bacias hidrográficas com ocupação agrícola, analisando-se todas as fases das culturas exploradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. R. Erosão do solo e suas consequências. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 7, n. 80, p. 17-26, ago. 1981.
- ALVARENGA, M. I. N.; SOUZA, J. A. **Atributos do solo e o Impacto Ambiental**. Lavras, ESAL/FAEPE, 1995, 140p. (Curso de Especialização por Tutoria à distância - Solos e Meio Ambiente).
- ANJOS, E. F. S; SPERLING, E. V. O emprego de parâmetros limnológicos básicos para o estabelecimento de pontos de monitoramento em sistemas lóticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17, Natal, 1993. **Anais...** Natal: ABES, 1993. p. 601-621.
- AZEVEDO, E. C. **Vazão e características físicas e químicas do deflúvio de microbacias hidrográficas cobertas com mata nativa, pastagens e *Eucalyptus grandis***. Viçosa, UFV, 1995. 92p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- AZEVEDO, S. F. Resíduos de Agrotóxicos na água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 31, Belo Horizonte, 1991. **Anais ...** Belo Horizonte: EMATER-MG, 1991. p. 81-93.
- BAHIA, V. G; RIBEIRO, M. A. V. **Conservação do Solo e Preservação Ambiental**. Lavras, ESAL/FAEPE, 1994, 104p. (Curso de Especialização por Tutoria à distância - Solos e Meio Ambiente).
- BAHIA, V. G.; CURI, N.; CARMO, D. N.; MARQUES, J. J. G. M. M.; Fundamentos de erosão do solo (tipos, formas, mecanismos, fatores determinantes e controle). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 25-31, 1992.

- BARBOSA, F. A. R. **Variações diurnas (24 horas) de parâmetros limnológicos básicos e da produtividade primária do fitoplâncton na Lagoa Carioca - Parque Florestal do Rio Doce-MG-Brasil.** São Carlos. UFSCar. 1981. 206p. (Tese - Doutorado em Ecologia).
- BARBOSA, F. A. R.; MAIA-BARBOSA, P.; SANTOS, M. B. L.; MINGOTTI, S.; AQUINO, V. Nova ferramenta para o monitoramento da qualidade da água. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 110. p. 16-17, jun. 1995.
- BARROSO, D. G.; SILVA, M. L. N. Poluição e conservação dos recursos naturais - Solo e Água. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v. 16, n. 176, p. 17-24, 1992.
- BARUQUI, A. M.; FERNANDES, M. R. Práticas de conservação do solo. Belo Horizonte. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v. 11, n. 128. p. 55-69, ago. 1985.
- BASSI, L. **Estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Lajeado São José, Chapeco, SC.** Santa Maria, UFSM, 1990, 87p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia).
- BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária.** 3. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986. 616p.
- BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas.** São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 185p.
- CASTRO, O. M. Degradação do solo pela erosão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 13, n. 147, p. 64-72, mar. 1987.
- CESSNA, A. J.; ELLIOTT, J. A.; KERR, L. A.; BEST, K. B.; NICHOLAICHUK, W.; GROVER, R. Transport of nutrients and postemergence-applied herbicides during corrugation irrigation of wheat. **Journal of Environmental Quality**, n. 23, p. 1038-1045, 1994.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1980. 188p.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Diretrizes gerais para a coleta de amostras de água.** T.105/2, T.107/1, T.109/1, T118/1. Belo Horizonte, 1991. p. irr.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas (1961-1990).** Brasília: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 1992. 86p.

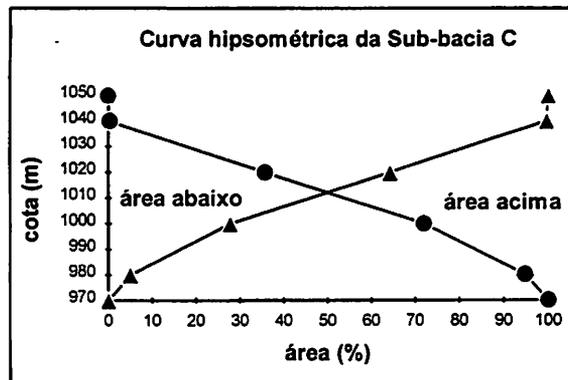
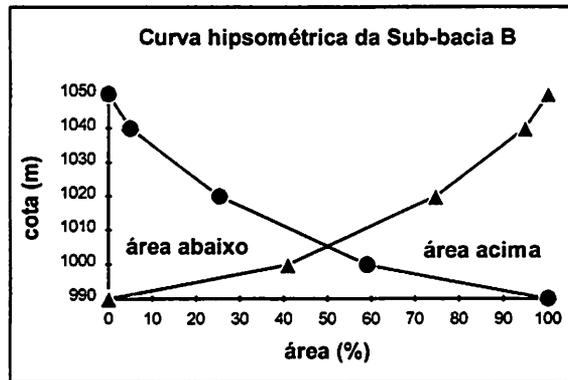
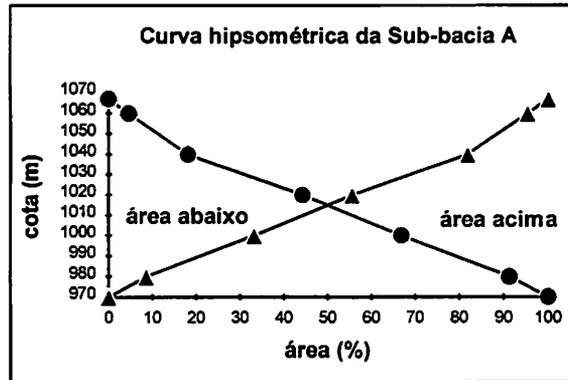
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de Métodos de Análises de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 282p.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **The Lake and Reservoir Restoration. Guidance Manual**. Washington: First Ed., 1988. 321p.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: FINEP, 1988. 574p.
- FELIPPO, R. de. **Impactos ambientais sobre os ecossistemas aquáticos**. Lavras: UFLA, 1994. 20p. (Apostila).
- FERNANDES, M.R. **Alterações em propriedades de um latossolo vermelho-amarelo distrófico, fase cerrado em decorrência da modalidade de uso e manejo**. Viçosa: UFV, 1982. 134 p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- FERNANDES, M. R.; SILVA, J. C. da. **Programa estadual de manejo de sub-bacias hidrográficas: fundamentos e estratégias**. Belo Horizonte : EMATER-MG, 1994. 24p.
- FERNANDES, M. R.; VALE, L.C.C.A.; GONÇALVES, M. G. **Proposição para manejo e conservação integrados dos solos - Projeto de colonização de Bonfinópolis**. Belo Horizonte. 1988. 23p. (mimeografado).
- FERREIRA, M. M. **Física do solo**. Lavras, ESAL/FAEPE, 1994, 63p. (Curso de especialização por Tutoria à distância - Solos e Meio Ambiente).
- HARVEY Jr, J. **Pesticide analytical methodology**. Washington: American Chemical Society, 1980. 406p.
- HEM, J. P. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. 3 ed. U.S.Geological Survey Water- Supply. 1986. 264p.
- KENT, M ; COKER, P. **Vegetation description and analysis, a practical approach**. London: Belhaven Press, 1992. 363p.
- KLUTE, A. **Water retention**. Methods of soil analysis. 2. ed. Madison: ASA/SSSA, 1986. v.1, n.9. p. 623-662.
- MESQUITA, M. G. B. F.; OLIVEIRA, G. C.; PEREIRA, J. C. Cobertura vegetal x erosão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 57-61, 1992.
- MUNIZ, J. A. **O uso da estatística experimental não-paramétrica**. Lavras: UFLA, 1995. 20p. (Apostila. Seminário curso de pós-graduação).

- NATIONAL TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE. **Water Quality Criteria**. Washington: Federal Water Pollution Control Administration, 1968. 234 p.
- OLIVEIRA FILHO, J. M. Resíduos de Fertilizantes na Exploração Agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 31, Belo horizonte, 1991. **Anais ...** Belo Horizonte: EMATER-MG, 1991. p. 94-103.
- \ PARDO, I. Comparative water quality characterization by PCA of an unperturbed and a polluted stream. **Archiv fuer Hydrobiologie**, Stuttgart, v. 132, n. 1, p. 95-114, Nov. 1994.
- PEREIRA, V. P. **Solo: Manejo e controle de erosão hídrica**. Jaboticabal: UEP-FCAV, 1994, 50p. (apostila).
- PORTO, R. L. (org.). **Hidrologia ambiental**. São Paulo: USP, 1991. 414p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 3).
- \ RAO, P. S. C.; MANSELL, R. S.; BALDWIN, L.B.; LAURENT, M. F. **Pesticides and Their Behavior in Soil and Water**. Florida: Soil Science Fact Sheet. 1983. 4p.
- RANZINI, M. **Balanço hídrico, ciclagem geoquímica de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus saligna* Smith, no Vale do Paraíba, SP**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 99p. (Dissertação - Mestrado em Ciências Florestais).
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 3-18, ago. 1985.
- RESENDE, M.; ALMEIDA, J. R. Modelos de predição de perda de solo: uma ferramenta para manejo e conservação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 38-54, ago. 1985.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 1995. 304p.
- RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Lavras: ESAL, 1988. 81p.
- \ RESENDE, M.; PINTO, M. M. A Legislação frente à conservação e ocupação dos solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 69-76, ago. 1985.
- RIGITANO, R. L. O. **Lixiviação de agrotóxicos em solos**. Lavras: ESAL. 1993. 13 p. (Apostila).

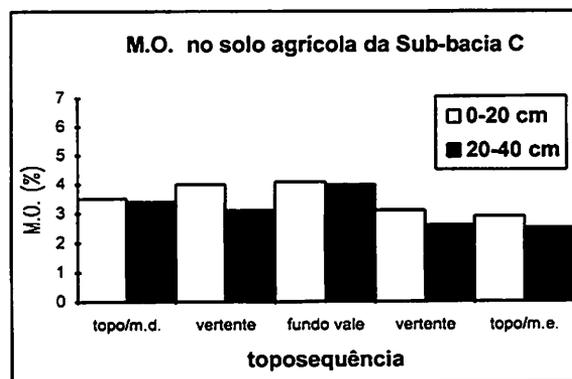
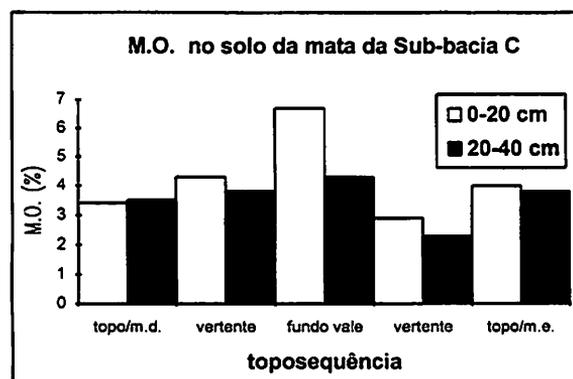
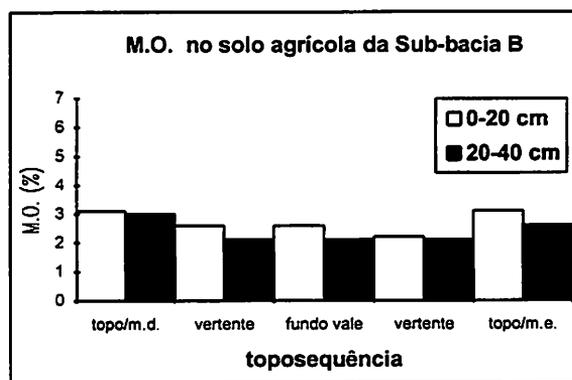
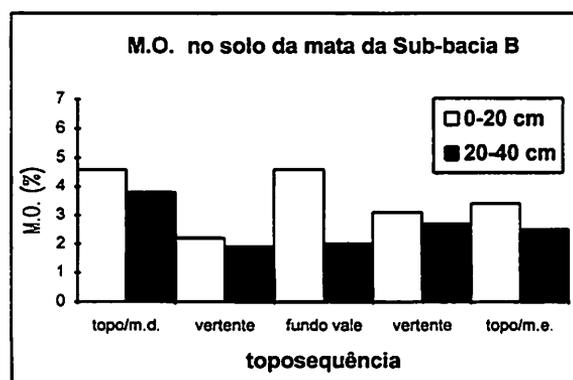
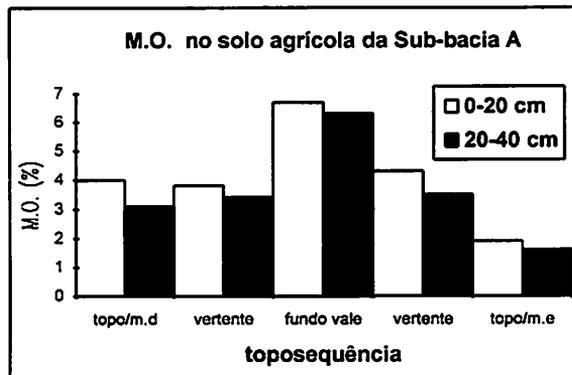
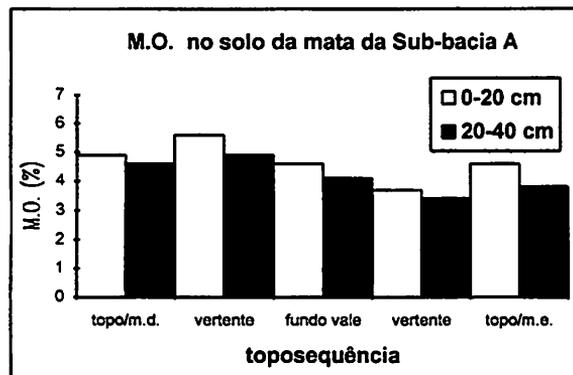
- RIGITANO, R.L.O.; GOUVEIA, A.V. Contaminação de manancial hídrico com resíduos de inseticidas em Maria da Fé-MG. In: CONGRESSO DE ENTOMOLOGIA, 15. Caxambu, 1995. **Anais ...** Lavras: UFLA, 1995. p. 485.
- SALINGAR, Y.; GEIFMAN, Y.; ARONOWICH, M. Orthophosphate and Calcium Carbonate Solubilities in the Upper Jordan watershed Basin. **Journal of Environmental Quality**, v. 22, p. 672-677, 1993.
- \ SCHREIBER, J. D.; SMITH Jr, S.; CULLUM, R.F. Pesticides and nutrients in southern U.S. shallow ground water and surface runoff. Great Britain. **Water Science and Technology**, Great Britain, v. 28, n. 3-5, p. 583-588, 1993.
- \ SETA, A. K.; BLEVINS, R. L.; FRYE, W. W.; BARFIELD, B. J. Reducing Soil Erosion and Agricultural Chemical Losses with Conservation Tillage. **Journal of Environmental Quality**. v. 22, p. 661-665, 1993.
- SILVA, A. M. **Bacias Hidrográficas**. Lavras: UFLA, 1995. 22p. (Apostila).
- SPERLING, M. V. **Qualidade da água**. Belo Horizonte: UFMG, 1994. 37p. (Apostila).
- TER BRAAK, C. J. F. Ordination. In: JONGMAN, R. H. G.; TER BRAAK, C. J. F.; VAN TONGEREN, O. F. R. (eds.). **Data analylis in community and landscape ecology**. Oxford: University Press. 1995. p. 91-173.
- TRAIN, R. E. **Quality criteria for water**. Washington: Castle House Publication, 1979, 256p.
- VALENTE, O. F.; CASTRO, P. S. Manejo de bacias hidrográficas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 7, n. 80, p. 40-45, mar. 1987.
- ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 3. ed. New Jersey. Prentice Hall Upper Saddle River, 1996. 662 p.

APÊNDICES

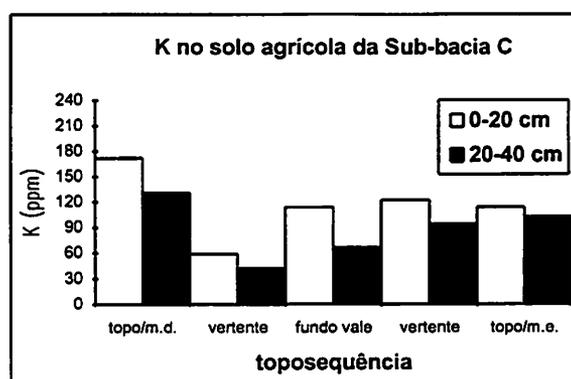
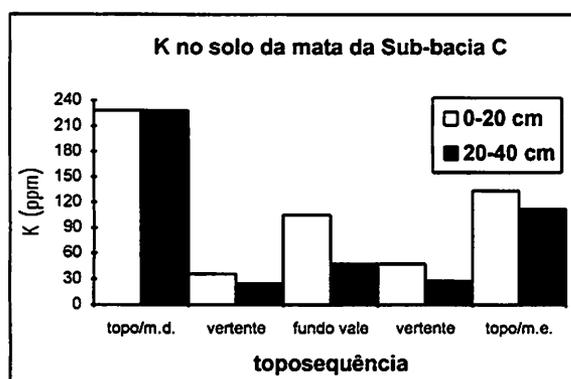
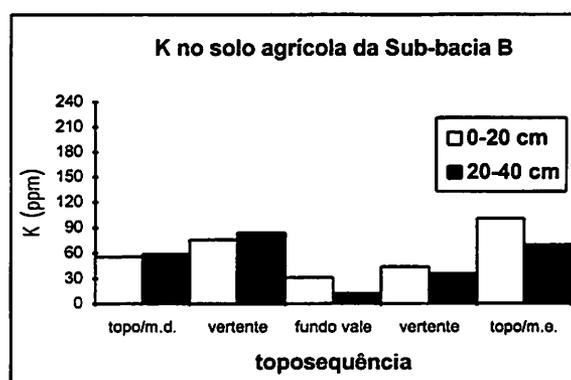
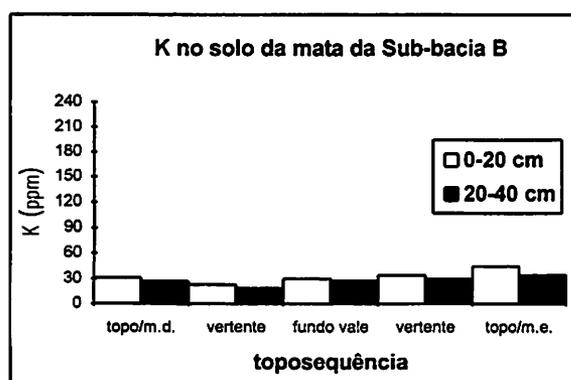
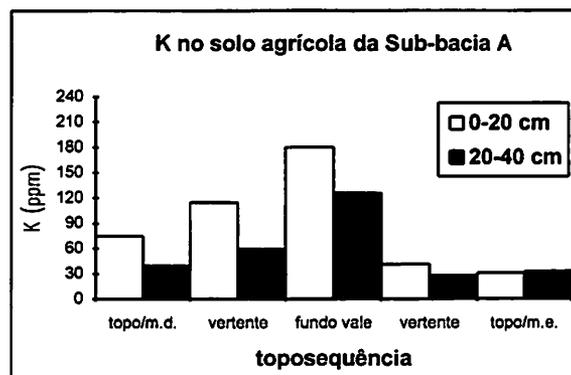
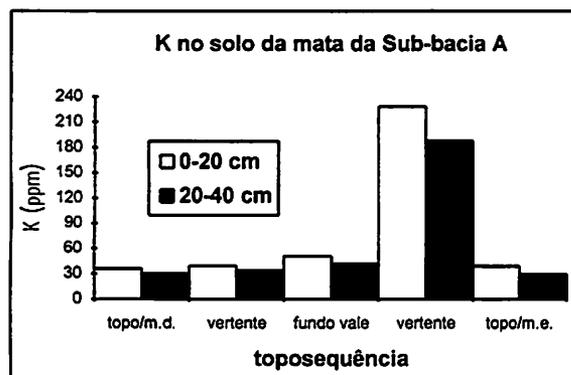
APÊNDICE A - Representação gráfica das curvas hipsométricas das sub-bacias A, B e C.



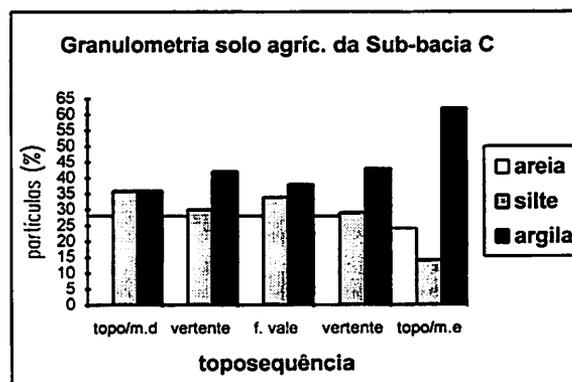
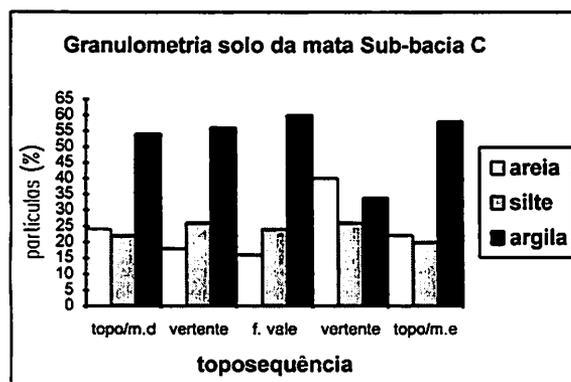
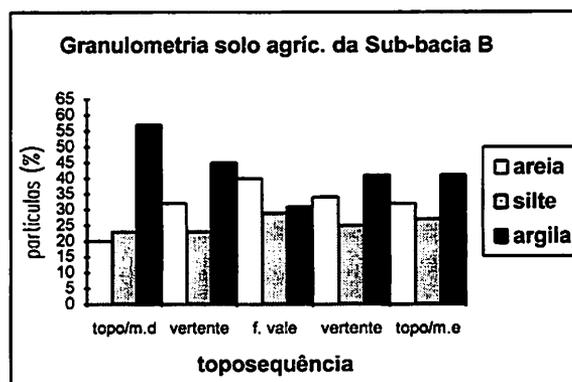
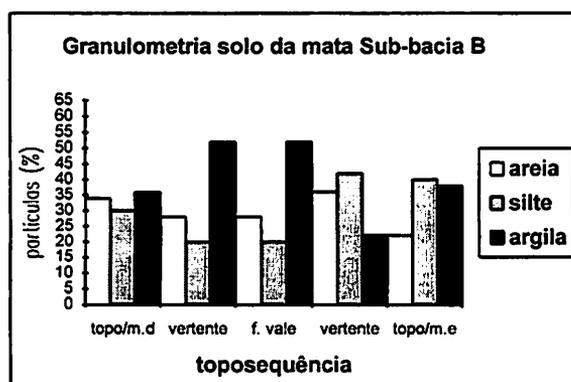
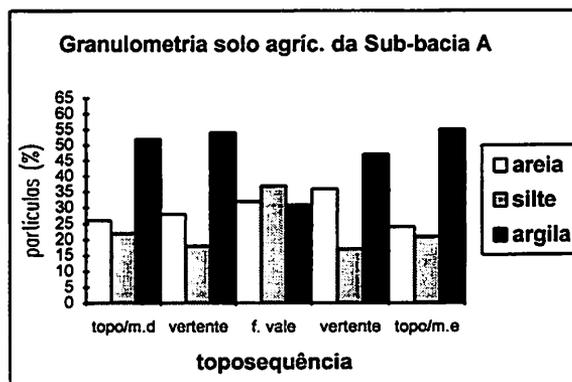
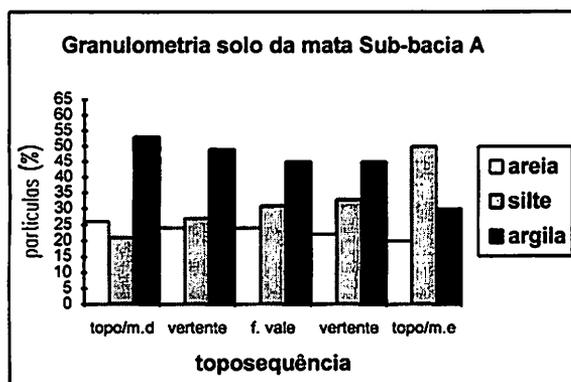
APÊNDICE B - Teor de matéria orgânica nos solos, nos pontos amostrados (topo da margem direita, vertente da margem direita, fundo do vale, vertente da margem esquerda e topo da margem esquerda) dos estratos florestal e agrícola, das sub-bacias A, B e C.



APÊNDICE C - Concentração de potássio nos solos, nos pontos amostrados (topo da margem direita, vertente da margem direita, fundo do vale, vertente da margem esquerda e topo da margem esquerda) dos estratos florestal e agrícola, das sub- bacias A, B e C.



APÊNDICE D - Granulometria dos solos, nos pontos amostrados (topo da margem direita, vertente da margem direita, fundo do vale, vertente da margem esquerda e topo da margem esquerda) dos estratos florestal e agrícola, das sub-bacias A, B e C.



APÊNDICE E - Concentração de H + Al nos solos, nos pontos amostrados (topo da margem direita, vertente da margem direita, fundo do vale, vertente da margem esquerda e topo da margem esquerda) dos estratos florestal e agrícola, das sub- bacias A, B e C.

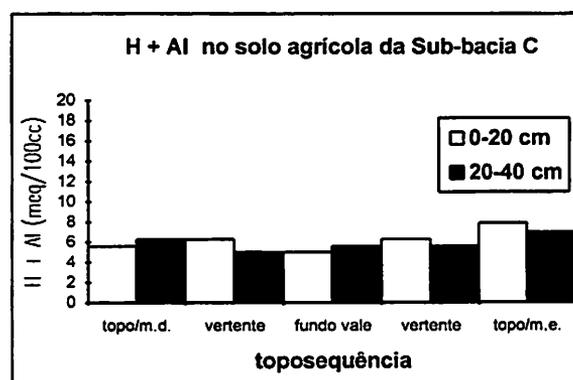
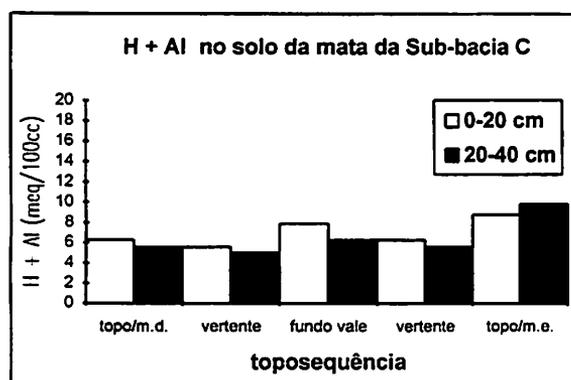
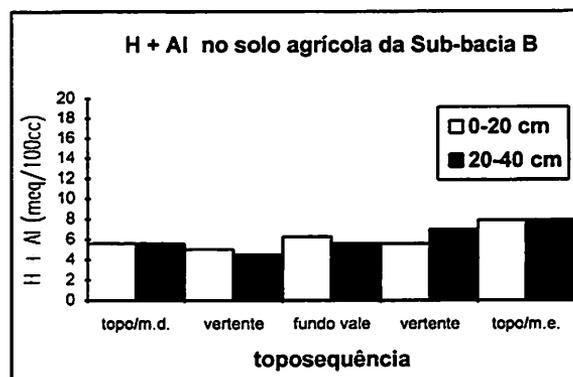
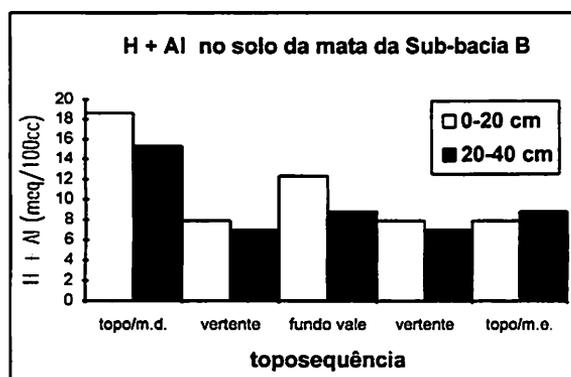
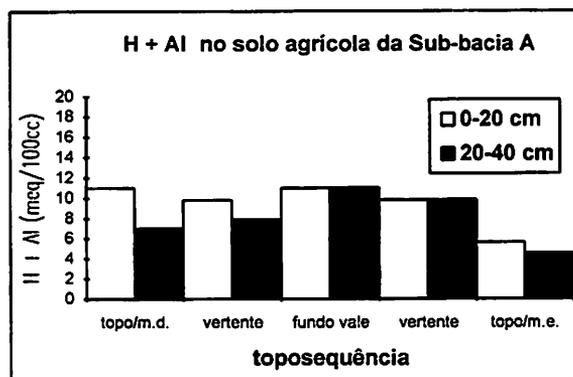
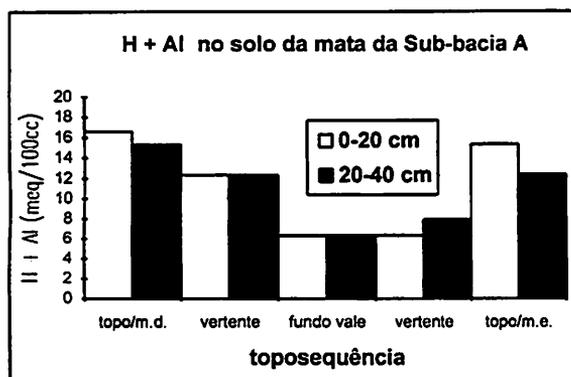




FIGURE 1 - Concentração de H⁺ e Al nos solos, nos pontos amostrados (foto de 1984) e a evolução da margem direita (foto de 1988) em função da profundidade dos pontos amostrados (A, B e C).

